



**TUGAS AKHIR - KI141502**

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS  
KEBUTUHAN DAN PASOKAN ENERGI LISTRIK  
SEKTOR RUMAH TANGGA STUDI KASUS JAWA  
TIMUR**

**DEWI MAYA FITRIANA  
NRP 5112100039**

Dosen Pembimbing  
Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D.  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



**FINAL PROJECT - KI141502**

***DYNAMICS SIMULATION MODEL OF DEMAND  
AND SUPPLY ELECTRICITY ENERGY  
HOUSEHOLD SECTOR CASE STUDY EAST  
JAVA***

**DEWI MAYA FITRIANA**

**NRP 5112100039**

**Supervisor**

**Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D.**

**Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS**

**Faculty of Information Technology**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2016**

***[Halaman ini sengaja dikosongkan]***

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**Pengembangan Model Simulasi Dinamis**  
**Kebutuhan dan Pasokan Energi Listrik Sektor**  
**Rumah Tangga Studi Kasus Jawa Timur**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
pada  
Rumpun Mata Kuliah Manajemen Informasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika  
Fakultas Teknologi Informasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Oleh:**  
**Dewi Maya Fitriana**  
**NRP. 5112100039**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Drs.Ec. Ir.Riyanarto Satrio Wicaksono  
(NIP. 195908031986011001) (Pembimbing 1)
2. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D  
(NIP. 197004272005012004) (Pembimbing 2)

**SURABAYA**

**Juni, 2016**

***[Halaman ini sengaja dikosongkan]***

# **PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI DINAMIS KEBUTUHAN DAN PASOKAN ENERGI LISTRIK SEKTOR RUMAH TANGGA STUDI KASUS JAWA TIMUR**

**Nama** : Dewi Maya Fitriana  
**NRP** : 5112100039  
**Jurusan** : Teknik Informatika  
Fakultas Teknologi Informasi ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Prof. Drs.Ec. Ir. Rryanarto Sarno,  
M.Sc., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRAK**

*Energi listrik merupakan salah satu faktor penting dalam pembangunan bagi setiap bangsa termasuk Indonesia. Energi listrik memiliki peran penting dalam bagi pembangunan baik dalam aspek ekonomi maupun sosial. Mengetahui seberapa besar kebutuhan energi listrik ke depannya akan membawa banyak sekali keuntungan-keuntungan baik dalam bidang ekonomi maupun sosial. Mengingat sangat besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terbatas dan harus digunakan seefisien mungkin, maka diperlukan upaya berupa langkah-langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan seefisien mungkin.*

*Tugas akhir ini membahas bagaimana pemodelan dinamis dikombinasikan dengan metode ekonometri dapat membantu menghasilkan skenario konsumsi listrik pada sektor rumah tangga di masa depan. Pemodelan ini mempelajari*

*struktur sistem yang kompleks dan untuk menguji skenario yang berbeda-beda. Juga besar jumlah variable yang mempengaruhi perilaku dapat dipertimbangkan. Produsen listrik membutuhkan pengetahuan dari total konsumsi energi listrik untuk mendukung bisnis mereka agar dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dengan seefisien mungkin, salah satunya seperti keputusan kapan diperlukan investasi gardu induk baru.*

*Hasil dari permodelan dan simulasi dinamis digunakan untuk menganalisa permintaan energi listrik sektor rumah tangga berdasarkan kondisi saat ini dan memperkirakan permintaan listrik rumah tangga di masa depan serta bagaimana mengatasi permintaan energi listrik di masa depan.*

*Pemodelan ini mengambil studi kasus rumah tangga di Jawa Timur. Simulasi dinamis digunakan untuk mengeksplorasi perilaku dinamis dari permintaan listrik yang ada dan permintaan di masa depan berdasarkan tiga skenario. Skenario 1 adalah kondisi normal (Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) 5% dan pertumbuhan penduduk 2,3%), skenario 2 adalah kondisi buruk (PDRB 7% dan pertumbuhan penduduk 2,5%), skenario 3 adalah kondisi baik (PDRB 4% dan pertumbuhan penduduk 2%). Persamaan dari metode ekonometrik digunakan untuk meramalkan permintaan listrik. Kesalahan (error) yang terjadi pada hasil model lebih kecil dibandingkan dengan error pada hasil metode Dokumentasi Simulasi Proyeksi Kebutuhan Listrik (DKL) 3.2. Hal tersebut dikarenakan metode ekonometrik melibatkan detail dari variabel pertumbuhan penduduk dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) sedangkan metode DKL hanya memanfaatkan total PDRB.*

***Kata kunci: Simulasi Dinamis, Energi Listrik, Sektor Rumah Tangga, Peramalan, Ekonometri.***



**DYNAMICS SIMULATION MODEL OF DEMAND AND  
SUPPLY ELECTRICITY ENERGY HOUSEHOLD  
SECTOR CASE STUDY EAST JAVA**

**Name** : Dewi Maya Fitriana  
**NRP** : 5112100039  
**Department** : Department of Informatics  
Faculty of Information Technology ITS  
**Supervisor I** : Prof. Drs.Ec. Ir. Rivanarto Sarno,  
M.Sc., Ph.D.  
**Supervisor II** : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

***ABSTRACT***

*Electrical energy is one important factor in the development of every nation, including Indonesia. Electrical energy has an important role in the development of both the economic and social aspects. Knowing how much electrical energy needs in the future will bring a lot of benefits both in economic and social fields. Given the very large and important energy benefits of electricity while the power generation and energy sources are limited and must be used as efficiently as possible, efforts are needed in the form of strategic measures to support the provision of electrical energy optimally and efficiently as possible.*

*This works explores how dynamic modeling combined with econometric method can help generate electricity consumption scenario of the household in the future. This modeling study the structure of complex systems and to test different scenarios. Also a large number of variables, which affect the behavior could be considered. Manufacturer of electricity requires knowledge of the total consumption of electrical energy*

*to support their business in order to meet the needs of electrical energy as efficiently as possible, such as the decision when new investments are required substations.*

*The results of modeling and dynamic simulation is used to analyze the demand for electrical energy household sector based on current conditions and forecast electricity demand in the household in the future as well as how to cope with demand for electric energy in the future.*

*This paper models household electricity supply demand in East Java. Dynamic Simulation is employed to explore the dynamic behavior of the existing and future electricity demand based on three scenarios. Scenario 1 is normal condition ( Gross Domestic Product (GDP) 5% and population growth 2.3% ), scenario 2 is bad condition ( GDP 7% and the population growth 2.5%), scenario 3 is good condition ( GDP 4% and the population growth 2% ). Econometric model is to forecast electricity demand. The forecast of electricity demand is less error than that forecasted by the DKL method, since the econometric method involves the detail of Gross Domestic Product (GDP) variable and population growth whereas the DKL method only utilizes the total GDP.*

***Keywords: Dynamic Simulation, Electricity, Household Sector, Forecasting, Econometric.***

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas segala karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengembangan Model Dinamis Kebutuhan dan Pasokan Energi Listrik Sektor Rumah Tangga studi kasus Jawa Timur.”

Pengerjaan tugas akhir ini penulis lakukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Komputer di Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai, antara lain:

1. Allah SWT atas segala karunia dan rahmat-Nya yang telah diberikan selama ini.
2. Keluarga penulis, Bapak M. Isa Wahyudi, Ibu Gani Latiefah, Kakak Dewi Aliffiana, Adik-adik M. Adam Hidayat dan Dewi Sarah Nofiana, dan juga keluarga yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberi dukungan moral dan material serta doanya untuk penulis.
3. Prof. Drs.Ec. Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

5. Teman-teman seperjuangan Teknik Informatika 2012 yang selalu ada untuk membantu dan berrbagi informasi selama ini.
6. Teman-teman Paduan Suara Mahasiswa ITS yang selalu menemani latihan, kompetisi, dan kegiatan lainnya sebagai tempat *refreshing* di kampus tercinta ini.
7. Seluruh pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan selama saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran untuk pembelajaran dan perbaikan ke depannya. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan.....	6
1.5. Manfaat.....	7
1.6. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Kondisi Kekinian Kelistrikan Jawa Timur .....	9
2.2. Proses Bisnis Sektor Rumah Tangga.....	13
2.3. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2015-2024.....	14
2.4. <i>Tools</i> Penelitian .....	15
2.4.1. Vensim.....	15
2.4.2. Matlab R2015a .....	16

2.4.3.	Minitab 17 .....	16
2.4.4.	Microsoft Excel 2010 .....	17
2.5.	Data-data Yang Dibutuhkan .....	17
2.6.	DKL (Dokumentasi Simulasi Proyeksi Kebutuhan Listrik) 3.2 .....	17
2.7.	Model Simulasi Dinamis .....	19
2.8.	<i>Dynamic Modeling of Household Electricity Consumption</i> .....	24
2.9.	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> .....	24
2.10.	Metode Ekonometri .....	25
BAB III METODOLOGI .....		27
3.1.	Tahap Penelitian .....	27
3.2.	Penjelasan Tahapan Penelitian .....	27
3.2.1.	Studi Literatur.....	27
3.2.2.	Tahap Pemahaman Sistem.....	27
3.2.3.	Observasi Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data .....	29
3.2.4.	Pembuatan Model <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD).....	29
3.2.5.	Pembuatan Model <i>Stock and Flow Diagram</i> (SFD) .....	30
3.2.6.	Pengolahan Data .....	30
3.2.7.	Tahap Penentuan Ekuasi.....	31
3.2.8.	Tahap Pembuatan Model Simulasi .....	31
3.2.9.	Tahap Uji Validasi.....	31

3.2.10.	Tahap Pembuatan Skenario .....	32
3.2.11.	Tahap Analisis Perbandingan .....	33
3.2.12.	Analisis dan Kesimpulan.....	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1.	Gambaran Umum .....	35
4.2.	Pengumpulan Data .....	37
4.2.1.	Sistem Tenaga Listrik.....	37
4.2.1.1	Pasokan Energi ( <i>Supply</i> ).....	39
4.2.1.2	Permintaan Energi ( <i>Demand</i> ).....	41
4.2.2.	Pemahaman Sistem dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi.....	43
4.2.2.1.	Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) .....	45
4.2.2.2.	Pertumbuhan Penduduk Jawa Timur.....	49
4.2.2.3.	Perhitungan Ekonometri Rumah Tangga .....	51
4.2.3.	Penggolongan dan Pemetaan Tarif .....	52
4.3.	Identifikasi Variabel Signifikan .....	53
4.4.	Pemodelan Diagram Sebab Akibat (Causal Loop Diagram).....	59
4.5.	Pemodelan <i>Stock and Flow Diagram</i> (SFD) .....	60
4.5.1.	Model <i>Supply</i> .....	63
4.5.1.	Model Faktor-faktor Sektor Rumah Tangga .....	65
4.5.2.	Model <i>Demand</i> Rumah Tangga.....	71
4.6.	<i>Base Model</i> .....	86
4.7.	Uji Validasi Model .....	91

4.7.1.	Validasi Tarif R-1 s/d 450 VA (A) .....	92
4.7.2.	Validasi Tarif R-1 900 VA (B) .....	96
4.7.3.	Validasi Tarif R-1 1300 VA (C) .....	100
4.7.4.	Validasi Tarif R-1 2200 VA (D) .....	104
4.7.5.	Validasi Tarif R-2 3500-5500 VA .....	108
4.7.6.	Validasi Tarif R-3 >6600 VA .....	112
4.8.	Skenario <i>Demand</i> .....	115
4.8.1.	APJ BJG .....	118
4.8.2.	APJ MJK .....	125
4.8.3.	APJ SBU .....	133
4.8.4.	Total Jawa Timur .....	140
4.9.	Skenario <i>Supply</i> .....	147
4.10.	Perbandingan Model Simulasi Dinamis dengan DKL	
3.2	151	
4.10.1.	Perbandingan APJ BJG .....	151
4.10.1.	Perbandingan APJ MJK .....	152
4.10.2.	Perbandingan APJ SBU .....	155
4.10.3.	Perbandingan Total Jawa Timur .....	155
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		161
5.1.	Kesimpulan .....	161
5.2.	Saran .....	162
DAFTAR PUSTAKA .....		163
DAFTAR SIMBOL .....		165



DAFTAR SINGKATAN.....	167
LAMPIRAN A .....	169
LAMPIRAN B .....	177
INDEX .....	187
BIODATA PENULIS.....	189

***[Halaman ini sengaja dikosongkan]***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik penjualan tenaga listrik PLN per sektor pelanggan tahun 2008-2013 .....	4
Gambar 1.2 Jumlah pelanggan PLN per sektor tahun 2013 .....	5
Gambar 2.1 Persentase Pemakaian Listrik Tiap Sektor Indonesia .....	10
Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram .....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	28
Gambar 4.1 Bentuk Model Secara Umum .....	35
Gambar 4.2 Gambaran Umum Sistem .....	36
Gambar 4.3 Sistem Tenaga Listrik Jawa Timur .....	38
Gambar 4.4 Sudut fasa daya aktif reaktif listrik .....	44
Gambar 4.5 Curve Fitting PDRB Rumah Tangga .....	49
Gambar 4.6 Contoh List Data Persentase Pertumbuhan Untuk Mencari Persamaan Ekonometri .....	51
Gambar 4.7 Tampilan Pada Menu Fit Model .....	52
Gambar 4.8 Hasil Perhitungan Persamaan Ekonometri .....	53
Gambar 4.9. Electricity Supply CLD .....	61
Gambar 4.10. Electricity Demand Mapping CID .....	62
Gambar 4.11. Electricity Demand and Supply Relationship .....	62
Gambar 4.12. Stock and Flow Diagram of Supply APJ BJB .....	66
Gambar 4.13 Stock and Flow Diagram of Supply APJ MJK .....	67
Gambar 4.14 Stock and Flow Diagram of Supply APJ SBU .....	68
Gambar 4.15 Total Supply East Java .....	69
Gambar 4.16 Stock and Flow Diagram Pertumbuhan PDRB dan Populasi ke Setiap Tarif .....	71
Gambar 4.17 Demand Tarif Bersubsidi Sektor Rumah Tangga ..	73
Gambar 4.18 Demand Tarif Tidak Bersubsidi Sektor Rumah Tangga .....	74
Gambar 4.19 Daya Tersambung Tarif Sektor Rumah Tangga .....	82

Gambar 4.20 Proyeksi Pertumbuhan Demand dan Ekspansi Supply yang Dibutuhkan di Masa Depan .....	84
Gambar 4.21 Grafik Demand Tarif R-1 A Jawa Timur.....	87
Gambar 4.22 Grafik Demand Tarif R-1 B Jawa Timur.....	87
Gambar 4.23 Grafik Demand Tarif R-1 C Jawa Timur.....	88
Gambar 4.24 Grafik Demand Tarif R-1 D Jawa Timur.....	88
Gambar 4.25 Grafik Demand Tarif R-2 Jawa Timur .....	89
Gambar 4.26 Grafik Demand Tarif R-3 Jawa Timur .....	89
Gambar 4.27 Grafik Demand Total Sektor Rumah Tangga Bersubsidi Jawa Timur .....	90
Gambar 4.28 Grafik Demand Total Sektor Rumah Tangga Tidak Bersubsidi Jawa Timur .....	90
Gambar 4.29 Grafik Demand Total Sektor Rumah Tangga Jawa Timur .....	91
Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ BJG .....	92
Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ MJK .....	93
Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ SBU.....	94
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A Total Jawa Timur .....	95
Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ BJG.....	96
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ MJK.....	97
Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ SBU.....	98
Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B Total Jawa Timur .....	99
Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ BJG.....	100
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ MJK.....	101
Gambar 4.40 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ SBU.....	102
Gambar 4.41 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C Total Jawa Timur .....	103
Gambar 4.42 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ BJG .....	104
Gambar 4.43 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ MJK .....	105

Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ SBU.....	106
Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D Total Jawa Timur .....	107
Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ BJG .....	108
Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ MJK .....	109
Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ SBU .....	110
Gambar 4.49 Grafik Perbandingan Tarif R-2 Total Jawa Timur .....	111
Gambar 4.50 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ BJG .....	112
Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ MJK .....	113
Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ SBU .....	114
Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Tarif R-3 Total Jawa Timur .....	115
Gambar 4.54 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ BJG.....	118
Gambar 4.55 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ BJG (1) .....	119
Gambar 4.56 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ BJG (2) .....	120
Gambar 4.57 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dengan Pasokan Listrik APJ BJG .....	121
Gambar 4.59 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d.....	122
Gambar 4.58 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 450 VA APJ BJG.....	122
Gambar 4.60 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 2200 VA APJ BJG .....	123
Gambar 4.61 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d.....	123
Gambar 4.62 Grafik Skenario Tarif R-3 >6600 VA APJ BJG.....	124
Gambar 4.63 Grafik Skenario Tarif R-2 3500-5500 VA APJ BJG .....	124
Gambar 4.64 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ MJK.....	125

Gambar 4.65 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ MJK (1).....	126
Gambar 4.66 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ MJK (2).....	127
Gambar 4.67 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik APJ MJK.....	128
Gambar 4.68 Grafik Skenario Tarif R-1.....	129
Gambar 4.69 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d.....	129
Gambar 4.70. Grafik Skenario Tarif R-1.....	130
Gambar 4.71 Grafik Skenario Tarif R-1.....	130
Gambar 4.72. Grafik Skenario Tarif R-3.....	131
Gambar 4.73. Grafik Skenario Tarif R-2.....	131
Gambar 4.74 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ SBU .....	133
Gambar 4.75 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ SBU (1).....	134
Gambar 4.76 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ SBU (2).....	135
Gambar 4.77 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik APJ SBU.....	136
Gambar 4.79 Grafik Skenario Tarif R-1.....	137
Gambar 4.78 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d.....	137
Gambar 4.80 Grafik Skenario Tarif R-1 2200 VA APJ SBU....	138
Gambar 4.81 Grafik Skenario Tarif R-1.....	138
Gambar 4.82 Grafik Skenario Tarif R-3.....	139
Gambar 4.83 Grafik Skenario Tarif.....	139
Gambar 4.84 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi Total Jawa Timur.....	140
Gambar 4.85 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi Total Jawa Timur (1) .....	141

Gambar 4.86 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi Total Jawa Timur (2).....	142
Gambar 4.87 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik Total Jawa Timur .....	143
Gambar 4.88 Grafik Skenario Tarif R-1 900 VA Jawa Timur..	144
Gambar 4.89 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d.....	144
Gambar 4.90 Grafik Skenario Tarif R-1 2200 VA Jawa Timur	145
Gambar 4.91 Grafik Skenario Tarif R-1.....	145
Gambar 4.92. Grafik Skenario Tarif R-3 >6600 VA Jawa Timur .....	146
Gambar 4.93 Grafik Skenario Tarif R-2.....	146
Gambar 4.94 Grafik Skenario Total Sektor Rumah Tangga Jawa Timur.....	148
Gambar 4.95 Skenario Supply APJ BJG.....	149
Gambar 4.96 Skenario Supply APJ SBU .....	150
Gambar 4.97 Skenario Supply APJ MJK.....	150
Gambar 4.98 Skenario Supply Jawa Timur.....	151
Gambar 4.99 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ BJG .....	153
Gambar 4.100 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ MJK.....	154
Gambar 4.101 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ SBU.....	156
Gambar 4.102 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL Jawa Timur .....	159

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol dalam Stock and Flow Diagram.....	22
Tabel 4.1 Gardu Induk Area Bojonegoro .....	40
Tabel 4.2 Gardu Induk Area Mojokerto .....	41
Tabel 4.3 Gardu Induk Area Surabaya Utara .....	42
Tabel 4.4 Data Pertumbuhan PDRB Tiap Komponen.....	47
Tabel 4.5 Pertumbuhan Penduduk (Rumah Tangga) .....	50
Tabel 4.6 Variabel Signifikan Supply Rumah Tangga.....	55
Tabel 4.7 Variabel Signifikan Demand Rumah Tangga .....	57
Tabel 4.8 Variabel Signifikan Peramalan.....	58
Tabel 4.9 Time Bounds Pada Model.....	61
Tabel 4.10 Auxiliary Total Supply.....	64
Tabel 4.11 Auxiliary Total Daya Gardu Induk .....	65
Tabel 4.12 Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga Komponen Lapangan Usaha .....	70
Tabel 4.13. Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga Komponen Penggunaan.....	72
Tabel 4.14 Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga Komponen Pengeluaran .....	72
Tabel 4.15 Variabel Pertumbuhan Populasi Rumah Tangga.....	73
Tabel 4.16 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 s/d 450 VA .....	75
Tabel 4.17 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 900 VA.....	75
Tabel 4.18 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 s/d 1300 VA .....	77
Tabel 4.19 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 2200 VA.....	78
Tabel 4.20 Persamaan Ekonometri Tarif R-2 3500 VA s/d 5500 VA .....	79
Tabel 4.21 Persamaan Ekonometri Tarif R-3 >6600 VA.....	80
Tabel 4.22 Tabel Variabel Pertumbuhan Demand Tariff.....	81
Tabel 4.23 Variabel Demand Tarif R-1, R-2, dan R-3 Sektor Rumah Tangga .....	81

Tabel 4.24 Variabel Total Demand Rumah Tangga.....	82
Tabel 4.25 Variabel Utilisasi Penggunaan .....	85
Tabel 4.26 Variabel Kekurangan Pasokan Energi Listrik .....	85
Tabel 4.27 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ BJG.....	92
Tabel 4.28 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ MJK.....	93
Tabel 4.29 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ SBU .....	94
Tabel 4.30 Hasil Validasi Tarif R-1 A Total Jawa Timur .....	95
Tabel 4.31 Hasil Validasi Tarif R-1 B APJ BJG.....	96
Tabel 4.32 Hasil Validasi Tarif R-1 B APJ MJK.....	97
Tabel 4.33 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ SBU .....	98
Tabel 4.34 Hasil Validasi Tarif R-1 A Total Jawa Timur .....	99
Tabel 4.35 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ BJG.....	100
Tabel 4.36 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ MJK.....	101
Tabel 4.37 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ SBU .....	102
Tabel 4.38 Hasil Validasi Tarif R-1 C Total Jawa Timur .....	103
Tabel 4.39 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ BJG.....	104
Tabel 4.40 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ MJK.....	105
Tabel 4.41 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ SBU .....	106
Tabel 4.42 Hasil Validasi Tarif R-1 D Total Jawa Timur .....	107
Tabel 4.43 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ BJG.....	108
Tabel 4.44 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ MJK.....	109
Tabel 4.45 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ SBU .....	110
Tabel 4.46 Hasil Validasi Tarif R-2 Total Jawa Timur .....	111
Tabel 4.47 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ BJG.....	112
Tabel 4.48 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ MJK.....	113
Tabel 4.49 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ SBU .....	114
Tabel 4.50 Hasil Validasi Tarif R-3 Total Jawa Timur .....	115
Tabel 4.51 Pertumbuhan Hasil Skenario Sektor Rumah Tangga Jawa Timur .....	149
Tabel 4.52 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL APJ BJG.....	152

Tabel 4.53 Perhitungan Perbandingan APJ BJG .....	152
Tabel 4.54 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL APJ MJK.....	153
Tabel 4.55 Perhitungan Perbandingan APJ MJK .....	154
Tabel 4.56 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL APJ SBU .....	155
Tabel 4.57 Perhitungan Perbandingan APJ SBU .....	156
Tabel 4.58 Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif Bersubsidi.....	157
Tabel 4.59 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL Jawa Timur.....	157
Tabel 4.60 Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif Tidak Bersubsidi.....	158
Tabel 4.61 Perhitungan Perbandingan Jawa Timur.....	159

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bagian ini akan dijelaskan hal-hal yang menjadi latar belakang, permasalahan yang dihadapi, batasan masalah, tujuan dan manfaat, sistematika penulisan yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini.

### **1.1. Latar Belakang**

Konsumsi listrik berubah dari waktu ke waktu. Bagi banyak pelaku di bisnis listrik, terutama produsen dan distributor, mengetahui konsumsi masa depan akan menjadi keuntungan besar, dan oleh karena itu kemampuan untuk menghasilkan skenario handal dari konsumsi masa depan sangat penting. Konsumsi listrik sektor rumah tangga merupakan seperempat dari total konsumsi listrik. Namun, di beberapa daerah pemukiman proporsinya jauh lebih besar. Kebutuhan listrik industri relatif stabil sedangkan konsumsi rumah tangga tergantung pada waktu hari, yaitu rendah pada dini hari dan tinggi di pagi, sore, dan malam hari, oleh karena itu memiliki dampak yang besar pada beban harian.

Tugas akhir ini membahas bagaimana pemodelan dinamis dapat membantu menghasilkan skenario konsumsi listrik masa depan. Produsen listrik, pemasok, dan distributor membutuhkan pengetahuan dari total konsumsi untuk mendukung bisnis mereka, misalnya keputusan investasi kapasitas baru. Pabrik produksi listrik dan proyek investasi jaringan dapat mengambil lebih dari satu dekade dari keputusan investasi pada kesimpulan proyek, yang menciptakan persyaratan ketat untuk alat skenario yang lebih akurat. Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah untuk mempelajari perubahan konsumsi listrik pada sektor rumah tangga. Pemodelan ini dibuat menggunakan sistem pendekatan dinamis. Pemodelan dinamis ini menggunakan perangkat lunak

Vensim. Alat analisis skenario memungkinkan pengguna untuk menguji skenario yang berbeda, seperti perkembangan teknologi, perubahan struktural di perumahan, perubahan perilaku konsumen jangka panjang, hibrida dan kendaraan listrik terobosan, rumah pasif terobosan, dan teknologi pengembangan pencahayaan. Model ini juga dapat dikembangkan untuk mendukung pengujian tarif listrik dan penentuan kebijakan-kebijakannya.

Sistem dinamis merupakan suatu metodologi untuk mempelajari sistem kompleks. Pendekatan sistem dinamis terdiri dari pendefinisian masalah, pengembangan hipotesis terhadap permasalahan (menggunakan *causal loop diagram*), menuliskan bahasa komputernya, melakukan simulasi dan pengujian, dan merekomendasikan keputusan berdasarkan hasil simulasi. Sistem dinamis memungkinkan cara-cara baru untuk memecahkan masalah dan memahami entitas di dunia yang kompleks dan berkembang. Tujuannya adalah untuk mendukung para pengambil keputusan untuk beroperasi di lingkungan yang kompleks ini . Pendekatan ini merupakan cara alternatif untuk memecahkan dan memahami masalah tradisional kelistrikan, sehingga kita dapat mengetahui kemungkinan-kemungkinan yang ada dan melakukan perencanaannya dengan matang. Penawaran pemodelan ini berarti mempelajari struktur sistem yang mendasar dan untuk menguji skenario yang berbeda-beda. Asumsi yang mendasari adalah bahwa struktur menentukan perilaku. Juga besar jumlah variabel, yang mempengaruhi perilaku dapat dipertimbangkan. Simulasi memfasilitasi pengujian asumsi yang berbeda dan penyebabnya.

Energi listrik merupakan salah satu faktor penting dalam pembangunan bagi setiap bangsa termasuk Indonesia. Energi listrik memiliki peran penting bagi pembangunan baik dalam aspek ekonomi maupun sosial. Perbaikan layanan energi listrik akan membawa banyak sekali keuntungan-keuntungan baik dalam bidang ekonomi maupun sosial, seperti perbaikan kegiatan belajar karena pencahayaan yang lebih baik; penghematan waktu dan tenaga pada bahan bakar tradisional; perbaikan hubungan informasi dan digital; peningkatan produktivitas; peningkatan

layanan kesehatan; dan peningkatan kualitas udara dalam ruang. Dengan demikian, ketersediaan serta kualitasnya akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan bagi setiap bangsa.

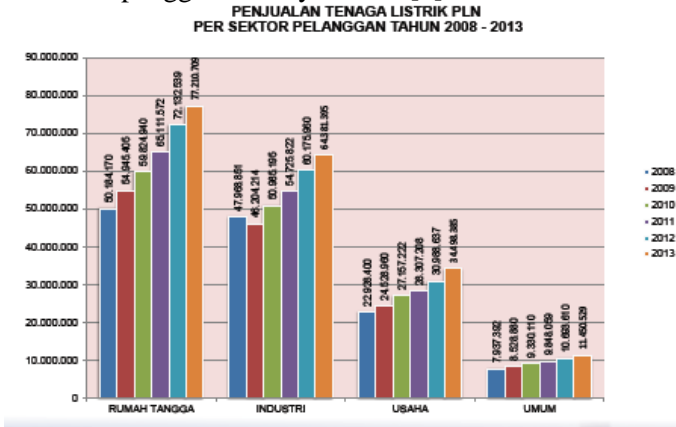
Tenaga listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kebutuhan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial, maupun dalam kehidupan sehari-hari rumah tangga. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan alat-alat/mesin industri. Mengingat sangat besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya tak terbarui keberadaannya terbatas, maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu diupayakan langkah-langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan terjangkau.

Saat ini, ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia. Terjadinya pemutusan sementara dan pembagian energi listrik secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disediakan oleh PLN. Hal ini terjadi karena laju pertambahan sumber energi baru dan pengadaan pembangkit tenaga listrik tidak sebanding dengan peningkatan konsumsi listrik [1].

Kondisi ketenagalistrikan nasional pada masa sekarang ini sedang mengalami krisis (*scarcity problem*) sebagai akibat terjadinya lonjakan permintaan akan listrik yang lebih besar dibanding tingkat pasokannya. Hasil laporan penelitian dalam kajian mengenai insentif kebijakan energi listrik Kementerian ESDM, menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan selisih antara penyediaan (*supply*) energi listrik dengan permintaan (*demand*) energi listrik yang cukup signifikan [2].

Pada tahun 1995 terdapat selisih sebesar 135,36 juta GWh, tahun 2000 meningkat menjadi sebesar 157,08 juta GWh, tahun 2005 meningkat menjadi sebesar 181,07 juta GWh, dan pada tahun 2010 meningkat menjadi sebesar 225,99 juta GWh. Dapat kita lihat pada Gambar 1.1 merupakan hasil penjualan tenaga

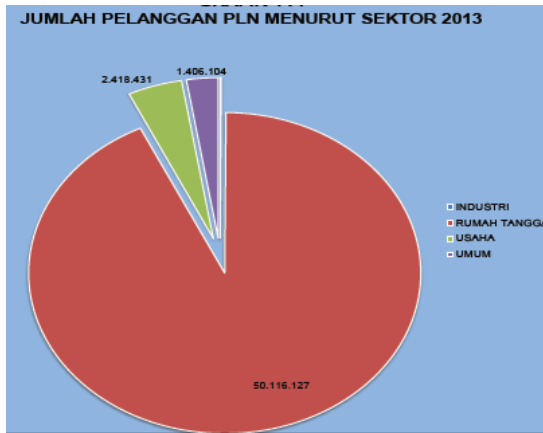
listrik pada tiap-tiap sektor. Sektor umum menjadi sektor paling rendah dalam penggunaan daya listrik [2].



**Gambar 1.1 Grafik penjualan tenaga listrik PLN per sektor pelanggan tahun 2008-2013**

Permasalahan kedua yang dihadapi oleh PT. PLN adalah subsidi yang terus membengkak. Selisih antara harga produksi dan harga jual energi listrik adalah penyebab utama. Harga produksi membengkak karena sebagian besar energi listrik dibangkitkan dengan BBM yang mahal serta tidak efisiennya sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi. Rendahnya harga jual juga menyebabkan dorongan untuk melakukan penghematan menjadi sangat rendah di kalangan konsumen. Di sisi lain, banyak konsumen yang tidak layak mendapatkan subsidi atau mampu membayar lebih mahal jika kualitas listrik yang didapat bisa dijamin. Pada sektor rumah tangga, terdiri dari golongan R1, R2, dan R3. Pemakaian listrik dari tahun ke tahun pada tiap golongan meningkat tiap tahunnya, pelanggan sektor rumah tangga inilah yang paling banyak peningkatannya dibanding sektor lainnya. Gambar 1.2 menggambarkan data jumlah pelanggan PLN di setiap sektor tahun 2013.





**Gambar 1.2 Jumlah pelanggan PLN per sektor tahun 2013**

Seiring dengan tingkat pertumbuhan ekonomi, maka tingkat permintaan akan energi listrik akan cenderung meningkat pada waktu yang akan datang. Dengan mempertimbangkan asumsi pertumbuhan ekonomi nasional rata-rata tumbuh sebesar 6,1 persen pertahun dan pertumbuhan penduduk secara nasional tumbuh sebesar 1,3 persen pertahun, perkiraan kebutuhan tenaga listrik nasional sesuai Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2008-2027 diperkirakan akan mencapai rata-rata sebesar 9,2 persen per tahun. Struktur ekonomi Jawa Timur tahun 2014 menurut pengeluaran didominasi oleh komponen pengeluaran konsumsi rumah tangga (63,83%), diikuti pembentukan modal tetap bruto (27,22%) dan ekspor (12,31%) [4].

Mengingat tingkat pasokan dan teknologi penyediaan energi listrik nasional cenderung tetap, sehingga ancaman 2 krisis di masa mendatang harus segera diatasi demi keberlanjutan pembangunan.

Pada kenyataan saat ini banyak jumlah *lose* tiap gardu induk cukup besar, dan seharusnya bisa diperkecil. Kinerja gardu induk bisa semakin dioptimalkan, karena melihat adanya *lose* tersebut membuat kinerja gardu induk menjadi berkurang. Hal tersebut bisa saja ditingkatkan, namun perhitungan yang

digunakan harus lebih maksimal. Sehingga gardu induk dapat menampung lebih banyak daya. Dengan perhitungan yang lebih tepat dan melihat keadaan dan perilaku konsumen maka gardu induk akan dapat bekerja secara optimal. Perhitungan yang dilakukan tidak bisa dengan perhitungan matematika biasa, namun menggunakan perhitungan dengan pemodelan simulasi dinamis. Dikarenakan data-data yang ada bersifat dinamis. Sehingga kita dapat mengukur dan melakukan *forecasting* dengan data-data tersebut.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil peramalan kebutuhan listrik beberapa tahun kedepan pada konsumsi listrik sektor rumah tangga?
2. Bagaimana pemodelan yang tepat untuk pasokan dan permintaan kebutuhan listrik dari waktu ke waktu?
3. Bagaimana kebijakan-kebijakan yang tepat untuk keadaan kelistrikan sektor rumah tangga di Jawa Timur kedepannya?

## **1.3. Batasan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini memiliki beberapa batasan antara lain:

1. Data yang digunakan adalah data dari PLN P3B JB (Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali) dan PLN Distribusi Jawa Timur.
2. Pemodelan ini dibuat untuk sektor rumah tangga pada distribusi PLN Jawa Timur.

## **1.4. Tujuan**

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini antara lain:

1. Untuk memperoleh hasil peramalan kebutuhan listrik beberapa tahun kedepan pada konsumsi listrik sektor rumah tangga.
2. Untuk mengetahui perbedaan perilaku konsumsi listrik rumah tangga dari jenisnya.
3. Untuk menemukan pemodelan yang tepat bagi pasokan dan permintaan kebutuhan listrik dari waktu ke waktu.
4. Untuk membantu penentuan kebijakan-kebijakan yang tepat bagi keadaan kelistrikan sektor rumah tangga di Jawa Timur

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari hasil pembuatan tugas akhir ini antara lain:

1. Dapat mengetahui perbedaan perilaku konsumsi listrik rumah tangga antar jenis tarif.
2. Dapat mengetahui kemungkinan perkembangan permintaan listrik di masa depan.
3. Alur kelistrikan di Jawa Timur menjadi stabil, dan optimal.
4. Dapat menyajikan model simulasi dinamis yang tepat bagi permintaan kelistrikan dari waktu ke waktu.
5. Dapat membuat suatu solusi dengan kebijakan-kebijakan yang tepat bagi kelistrikan sektor rumah tangga.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Buku tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **Bab I. Pendahuluan**

Bab ini berisi mengenai latar belakang, tujuan, dan manfaat dari pembuatan tugas akhir. Selain itu, permasalahan, batasan masalah, metodologi yang digunakan, dan sistematika penulisan juga merupakan bagian dari bab ini.

## **Bab II. Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi penjelasan secara detail mengenai dasar-dasar penunjang dan teori-teori yang digunakan untuk mendukung pembuatan tugas akhir ini.

## **Bab III. Metodologi**

Bab ini membahas tahap analisis permasalahan dan perancangan dari sistem yang akan dibangun. Analisis permasalahan membahas permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir.

## **Bab IV. Analisis dan Pembahasan**

Bab ini membahas data-data apa saja yang mendukung adanya penelitian ini dan bagaimana tahap pengolahannya. Bab ini menjelaskan analisis dari hasil pengolahan data dan juga menjelaskan tentang pembahasan pengujian skenario dari analisis tersebut.

## **Bab V. Kesimpulan dan Saran**

Bab ini merupakan bab terakhir yang menyampaikan kesimpulan dari hasil analisis yang dilakukan dan saran untuk pengembangan kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini akan membahas mengenai dasar teori dan literatur yang menjadi dasar pengerjaan tugas akhir ini.

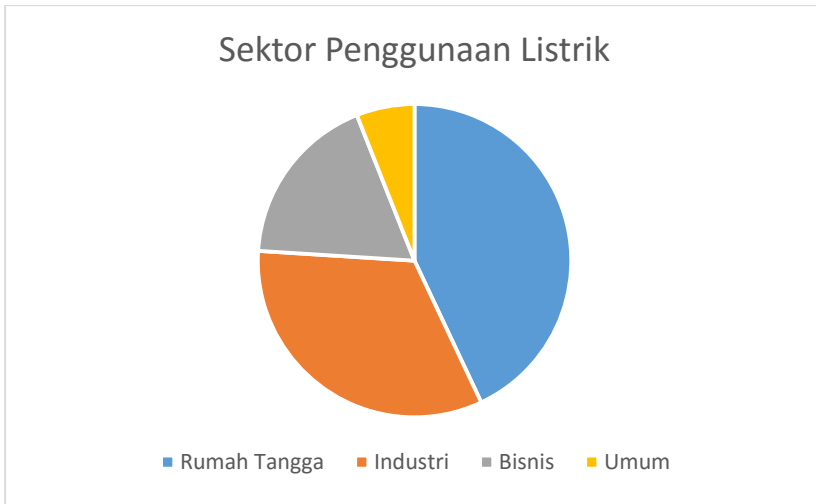
#### **2.1. Kondisi Kekinian Kelistrikan Jawa Timur**

Pada tugas akhir ini penggunaan listrik dibedakan menjadi 4 sektor, yaitu:

1. Sektor rumah tangga
2. Sektor industri
3. Sektor bisnis
4. Sektor umum (sosial dan publik)

Kondisi kelistrikan nasional hingga akhir 2014 berdasarkan catatan yang ada di Kementerian energi dan sumber daya mineral hingga akhir 2014 menunjukkan total kapasitas terpasang pembangkit 53.585 MW. 37.280 MW (70%) disumbangkan oleh PLN, *Independent Power Producer* (IPP) sebesar 10.995 MW (20%), *Public Private Utility* (PPU) sebesar 2.634 MW (5%), izin operasi non BBM (IO) sebesar 2.677 MW (5%). Konsumsi energi rata-rata 199 TWh sedangkan produksi tenaga listriknya 228 TWh (hanya PLN dan IPP). Rasio elektrifikasi nasional tercatat sebesar 84,35% [5].

Pemakaian listrik pergolongan terbesar untuk golongan rumah tangga yaitu sebesar 43%, disusul kemudian dengan industri sebesar 33%, bisnis 18% dan terakhir 6% publik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Persentase Pemakaian Listrik Tiap Sektor Indonesia**

Kondisi Kelistrikan Awal Maret 2014, total sistem kelistrikan di Indonesia terdapat 22 sistem, dengan perincian, enam dalam kondisi normal (cadangan >20 persen), 11 siaga (cadangan <1 unit terbesar) dan 5 defisit (pemadaman sebagian). Bauran energi *mix* untuk pengadaan tenaga listrik antara lain, batubara 52%, gas 24%, BBM (Bahan Bakar Minyak) 11,7%, air 6,4%, panas bumi 4,4% dan energi lainnya sebesar 0,4%.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang terus tumbuh, pemerintah sedang mengupayakan penambahan kapasitas listrik sebesar 7.000 MW per tahun 35.000 MW dalam 5 tahun. Pembagian pengadaan tambahan tenaga listrik dibagi berdasarkan zona, Sumatera direncanakan sebesar 8,75 GW, Kalimantan 1,87 GW, Sulawesi 2,70 GW, Jawa-Bali 20,91 GW, Nusa Tenggara 0,70 GW, Maluku 0,28 GW dan Papua 0,34 GW. Guna mendukung program, penambahan kapasitas listrik

35.000 MW, akan dibangun pula jaringan transmisi total di seluruh Indonesia sepanjang 46.597 kms yang terdiri dari, 2.689 kms untuk 70 kV, 33.562 kms untuk jaringan 150 kV, 5.262 kms untuk 275 kV, dan 3.541 kms untuk jaringan 500 kV [5].

*Tariff adjustment* listrik bulan Desember 2015 telah ditetapkan. Sesuai Peraturan Menteri (Permen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 31/2014 sebagaimana telah diubah dengan Permen ESDM No 09/2015, *tariff adjustment* diberlakukan setiap bulan, menyesuaikan perubahan nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap mata uang Rupiah, harga minyak dan inflasi bulanan. Dengan mekanisme *tariff adjustment*, tarif listrik setiap bulan memang dimungkinkan untuk turun, tetap atau naik berdasarkan ketiga indikator tersebut. *Tariff adjustment* berlaku bagi golongan pelanggan yang sudah tidak disubsidi, yaitu rumah tangga daya 1.300 *Volt Ampere* (VA) ke atas, bisnis sedang daya 6.600 VA ke atas, industri besar daya 200.000 VA ke atas, kantor pemerintah daya 6.600 VA ke atas, lampu penerangan jalan umum (PJU) dan layanan khusus [2].

Pada bulan Desember 2015 secara umum tarif listrik bagi pelanggan yang sudah tidak disubsidi mengalami penurunan dibanding bulan sebelumnya. Golongan tarif rumah tangga sedang (R-2) daya 3.500 VA – 5.500 VA dan rumah tangga besar (R-3) daya 6.600 VA ke atas turun dari Rp. 1.533 per kilo Watt hour (kWh) pada bulan November 2015 menjadi Rp. 1.509 per kWh pada bulan Desember 2015. Untuk golongan tarif bisnis sedang, industri besar, kantor pemerintah, PJU (Penerangan Jalan Umum) dan layanan khusus juga mengalami penurunan tipis dibanding bulan sebelumnya [2]. Penurunan ini dipengaruhi tingkat inflasi yang rendah dan nilai tukar rupiah yang menguat beberapa waktu terakhir. Berdasarkan perbandingan hasil analisis efisiensi terhadap seluruh sektor yang ada, maka sektor umum

merupakan sektor yang paling besar terjadi pemborosan dalam penggunaan energi listrik yang ada. Sektor industri dan sektor komersial merupakan sektor yang paling efisien dalam penggunaan energi listrik. Pendapatan riil sektor umum berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah permintaan energi listrik pada sektor umum. Pada sektor fasilitas umum, terdiri dari pemakai gedung/kantor pemerintah, Penerangan Jalan Umum (PJU), dan sosial yang meliputi rumah sakit, sekolah, dan tempat ibadah [3].

Sementara untuk pelanggan rumah tangga kecil daya 450 VA dan 900 VA, bisnis dan industri kecil serta pelanggan sosial tarifnya tetap dan tidak diberlakukan *tariff adjustment*. Pelanggan golongan ini masih diberikan subsidi oleh Pemerintah. Mulai bulan Desember 2015, pelanggan PLN golongan tarif rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA diberlakukan mekanisme *tariff adjustment*. Hal ini menyusul penerapan *tariff adjustment* kepada 10 golongan tarif lainnya yang sudah berlaku sejak 1 Januari 2015. Sebenarnya, tarif listrik bagi rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA harus sudah mengikuti mekanisme *tariff adjustment* saat itu, namun Pemerintah dan PLN mengambil kebijakan untuk menunda penerapan *tariff adjustment* bagi pelanggan rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA. Pertimbangannya saat itu, pelanggan golongan tersebut sudah mengalami kenaikan tarif listrik secara bertahap sejak Juli 2014 hingga November 2014 [5]. Selain itu penundaan juga untuk meringankan beban ekonomi pelanggan di kedua golongan tersebut.

Kondisi-kondisi tersebut yang perlu dipastikan ketepatan mekanismenya. Mekanisme penentuan *tariff adjustment* yang tepat, dengan menggunakan kebijakan-kebijakan yang tepat.



Sehingga kondisi kelistrikan di Jawa Timur bisa berkembang lebih baik lagi.

## **2.2. Proses Bisnis Sektor Rumah Tangga**

Sektor rumah tangga terdiri dari pemakai rumah tangga dan pemakai kecil (golongan tarif R1, R2, dan R3). Dimana tarif tersebut juga dibagi dengan adanya tarif bersubsidi dan tidak bersubsidi. Sesuai Peraturan Menteri (Permen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 31/2014 sebagaimana telah diubah dengan Permen ESDM No. 09/2015, *tariff adjustment* diberlakukan setiap bulan, menyesuaikan perubahan nilai tukar mata uang Dollar Amerika terhadap mata uang Rupiah, harga minyak dan inflasi bulanan. Dengan mekanisme *tariff adjustment*, tarif listrik setiap bulan memang dimungkinkan untuk turun, tetap, atau naik berdasarkan ketiga indikator tersebut. *Tariff adjustment* berlaku bagi golongan pelanggan yang sudah tidak disubsidi, yaitu rumah tangga daya 1.300 Volt Ampere (VA) ke atas, bisnis sedang daya 6.600 VA ke atas, industri besar daya 200.000 VA ke atas, kantor pemerintah daya 6.600 VA ke atas, lampu penerangan jalan umum (PJU) dan layanan khusus.

Pada bulan Desember 2015 secara umum tarif listrik bagi pelanggan yang sudah tidak disubsidi mengalami penurunan dibanding bulan sebelumnya. Golongan tarif rumah tangga sedang (R-2) daya 3.500 VA – 5.500 VA dan rumah tangga besar (R-3) daya 6.600 VA ke atas turun dari Rp. 1.533 per kilo Watt hour (kWh) pada bulan November 2015 menjadi Rp. 1.509 per kWh pada bulan Desember 2015. Untuk golongan tarif bisnis sedang, industri besar, kantor pemerintah, PJU dan layanan khusus juga mengalami penurunan tipis dibanding bulan sebelumnya. Penurunan ini dipengaruhi tingkat inflasi yang rendah dan nilai tukar Rupiah yang menguat beberapa waktu terakhir.

Sementara untuk pelanggan rumah tangga kecil daya 450 VA dan 900 VA, bisnis dan industri kecil serta pelanggan sosial

tarifnya tetap dan tidak diberlakukan *tariff adjustment*. Pelanggan golongan ini masih diberikan subsidi oleh Pemerintah.

Rumah Tangga 1.300 VA dan 2.200 VA diberlakukan *tariff adjustment*. Mulai bulan Desember 2015, pelanggan PLN golongan tarif rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA diberlakukan mekanisme *tariff adjustment*. Hal ini menyusul penerapan *tariff adjustment* kepada 10 golongan tarif lainnya yang sudah berlaku sejak 1 Januari 2015. Sebenarnya, tarif listrik bagi rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA harus sudah mengikuti mekanisme *tariff adjustment* saat itu, namun pemerintah dan PLN mengambil kebijakan untuk menunda penerapan *tariff adjustment* bagi pelanggan rumah tangga daya 1.300 VA dan 2.200 VA. Pertimbangannya saat itu, pelanggan golongan tersebut sudah mengalami kenaikan tarif listrik secara bertahap sejak Juli 2014 hingga November 2014 [5]. Selain itu penundaan juga untuk meringankan beban ekonomi pelanggan di kedua golongan tersebut.

Dengan penyesuaian per Desember 2015, sebanyak 12 golongan tarif listrik sudah mengikuti mekanisme *tariff adjustment*. Dimana R1 adalah tegangan rendah dengan daya 1.300 VA, 2.200 VA. R2 adalah tegangan rendah dengan daya 3.500 VA s.d 5.500 VA. R3 adalah tegangan rendah dengan daya 6.600 VA ke atas.

### **2.3. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2015-2024**

RUPTL adalah perencanaan dari PLN yang harus disetujui pemerintah. Sejalan dengan kewajiban yang diberikan pemerintah kepada PLN, warna RUPTL itu adalah warna bagaimana infrastruktur itu harus dibangun dan bisa menopang pertumbuhan ekonomi yang ditargetkan oleh pemerintah. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) merupakan data nyata yang telah digabungkan oleh data-data perencanaan dari PT. PLN. Selain didorong oleh kebutuhan internal PLN sendiri untuk

mempunyai RUPTL, dokumen RUPTL dibuat oleh PLN untuk memenuhi peraturan dan perundangan yang ada di sektor ketenagalistrikan [4].

RUPTL ini mencakup program-program pembangunan pembangkit, pembangunan infrastruktur transmisi dan distribusi dengan indikasi proyek PLN, yang juga tercermin bagaimana upaya-upaya penyediaan tenaga listrik menjadi lebih efisien dengan memanfaatkan energi-energi yang melimpah di tanah air. Tergambarkan juga informasi tentang perkiraan pertumbuhan *demand* listrik, proyeksi *fuel mix* dan kebutuhan energi primer serta kebutuhan investasi.

Pembangkit listrik di Jawa Timur yang berada di *grid* 500 kV adalah PLTU Paiton, PLTGU Gresik dan PLTGU Grati, sedang yang terhubung ke *grid* 150 kV adalah PLTGU/PLTU Gresik, PLTU Perak, PLTG Grati, PLTU Pacitan dan PLTA tersebar (Sutami, Tulung Agung, dll).

## **2.4. Tools Penelitian**

Analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan beberapa *tools*. Penjelasan lebih lanjut untuk *tools* yang digunakan akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

### **2.4.1. Vensim**

Vensim merupakan sebuah *platform* untuk mensimulasikan sistem yang kompleks yang diterapkan diterapkan pada sistem dinamis [6]. Vensim merupakan perangkat lunak simulasi yang dikembangkan oleh Ventana Sistem yang menganalisis hubungan variabel dan elemen struktur diagram menggunakan model persamaan. Hal ini ditandai dengan output visual, perilaku sistem dan status sistem ditampilkan secara grafis. Hal ini berguna untuk analisis komparatif. Fitur dari perangkat lunak diuraikan dalam manual referensi mereka.

### 2.4.2. Matlab R2015a

Matlab atau yang kita sebut dengan Matrix Laboratory yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numeric. Matlab juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

Matlab merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc. yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++ [7]. Matlab sering digunakan untuk beberapa pengembangan pada:

- Matematika dan komputansi,
- Pengembangan dan algoritma,
- Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe,
- Analisis data, eksplorasi dan visualisasi,
- Analisis numerik dan statistik,
- Pengembangan aplikasi teknik.

### 2.4.3. Minitab 17

Minitab adalah program yang dirancang untuk pengolahan data. Minitab diciptakan oleh Minitab Inc, sebuah perusahaan yang ada di Pennsylvania. Minitab 17, versi perangkat lunak ini menyediakan tujuh bahasa yaitu Inggris, Perancis, Jerman, Jepang, Korea, Mandarin, dan Spanyol.

Minitab memiliki keunggulan dalam pengolahan data statistik seperti *anova*, analisis *multivariate*, analisis *time series*, *quality control*, analisis data kuantitatif, analisis non parametrik, dan lain-lain [7]. Aplikasi ini memberikan tampilan desain grafis yang mudah dipahami. Banyak orang kuliah menggunakan aplikasi ini untuk mengolah data mereka secara kuantitatif.

#### 2.4.4. Microsoft Excel 2010

Microsoft Excel atau Microsoft Office Excel adalah sebuah program aplikasi lembar kerja *spreadsheet* yang dibuat dan didistribusikan oleh Microsoft Corporation yang dapat dijalankan pada Microsoft Windows dan Mac OS [7]. Aplikasi ini memiliki fitur kalkulasi dan pembuatan grafik yang, dengan menggunakan strategi *marketing* Microsoft yang agresif, menjadikan Microsoft Excel sebagai salah satu program komputer yang populer digunakan di dalam komputer mikro hingga saat ini. Bahkan, saat ini program ini merupakan program *spreadsheet* paling banyak digunakan.

### 2.5. Data-data Yang Dibutuhkan

Beberapa data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data-data langsung yang diambil dari PT.PLN P3B Jawa Bali di Sepanjang, Waru, Sidoarjo. Juga terdapat beberapa data yang didapat dari PT.PLN Distribusi Jawa Timur [10]. Sedangkan untuk data faktor produk domestik regional bruto (PDRB) dan populasi rumah tangga didapatkan dari data BPS (Badan Pusat Statistik). Beberapa data yang dibutuhkan/didapatkan yaitu:

1. Neraca Area Pengatur Beban (APB) Jawa Timur bulanan.
2. Peta jaringan kelistrikan Jawa Timur.
3. Daya unit pembangkit Jawa Timur.
4. Evaluasi tarif pemakaian listrik konsumsi rumah tangga.
5. PDRB tahun 2012, 2013, dan 2014 Jawa Timur.
6. Jumlah pertumbuhan penduduk Jawa Timur 2012-2014.

### 2.6. DKL (Dokumentasi Simulasi Proyeksi Kebutuhan Listrik) 3.2

Model DKL 3.2 merupakan suatu model yang disusun dengan menggabungkan beberapa metode seperti ekonometri, kecenderungan, dan analitis dengan pendekatan sektoral. Model

DKL 3.2 digunakan PLN untuk menyusun perkiraan kebutuhan listrik [9]. Pada model DKL 3.2, pendekatan yang digunakan dalam menghitung kebutuhan energi listrik adalah dengan mengelompokkan pelanggan menjadi empat sektor yaitu:

- a) Sektor rumah tangga, terdiri dari pemakai rumah tangga dan pemakai kecil (golongan tarif R1, R2, dan R3)
- b) Sektor bisnis, terdiri dari pemakai bisnis (golongan tarif B1, B2, B3, T, C, dan M)
- c) Sektor umum, terdiri dari pemakai gedung/kantor pemerintah, lampu penerangan jalan umum, dan sosial. (golongan tarif S1, S2, S3, P1, P2, dan P3)
- d) Sektor industri terdiri dari pemakai industri dan hotel (golongan tarif I1, I2, I3, dan I4)

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang sektor rumah tangga. Hasil dari tugas akhir ini nanti akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan peramalan kelistrikan yang menggunakan DKL 3.2 sektor rumah tangga.

Pada DKL sektor rumah tangga perhitungannya menggunakan suatu persamaan yang selalu sama untuk setiap studi kasus. Sehingga variabel faktor-faktor lain yang mendukung perkembangan kelistrikan tidak dapat dimasukkan ke dalam variabel yang mempengaruhi peramalan.

DKL yang digunakan sebagai pembanding adalah DKL yang digunakan PLN saat ini, yaitu DKL 3.2 yang menggunakan Persamaan 2.1.

$$E.RT_n = E.RT_{n-1}(1 + eRT \times gE/100\%) + \Delta Pel.RT \times UK \quad (2.1)$$

Keterangan :

$E.RT_n$  = jumlah energi listrik rumah tangga

$E.RT_{n-1}$  = jumlah energi listrik rumah tangga tahun sebelumnya

$gE$  = pertumbuhan PDRB total

$\Delta Pel.RT$  = delta pelanggan rumah tangga

$UK$  = unit konsumsi (kWh/pelanggan)

$eRT$  = elastisitas; pertumbuhan permintaan energi rumah tangga/pertumbuhan PDRB total

Sedangkan rumus untuk mencari jumlah pelanggan rumah tangga dijelaskan pada Persamaan 2.2.

$$PRT_n = PRT_{n-1}(1 + CFH \times gE/100\%) \quad (2.2)$$

Keterangan :

$PRT_n$  = jumlah pelanggan rumah tangga

$PRT_{n-1}$  = jumlah pelanggan rumah tangga tahun sebelumnya

$gE$  = pertumbuhan PDRB total

$CFH$  = faktor pelanggan rumah tangga, sesuai standar bernilai 1

## 2.7. Model Simulasi Dinamis

Sistem dinamis merupakan suatu metode pemodelan yang diperkenalkan oleh Jay Forrester pada tahun 1950-an dan dikembangkan di Massachusetts Institute of Technology Amerika. Sesuai dengan namanya, penggunaan metode ini erat berhubungan dengan pertanyaan-pertanyaan tentang sistem dinamis yang kompleks, yaitu pola-pola tingkah laku yang dibangkitkan oleh sistem itu dengan bertambahnya waktu. Oleh karena itulah model-model dinamika sistem diklasifikasikan ke dalam model matematik kausal [6].

Simulasi Dinamis merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menganalisa dan mendesain suatu sistem dari permasalahan secara terstruktur layaknya *flowchart* yang tiap variabelnya memiliki keterkaitan satu sama lain. Secara harfiah simulasi dinamis ditandai dengan ketergantungan antar variabel, hubungan umpan balik, dan perputaran sebab akibat. Pendekatan sistem dinamis dalam melakukan simulasi dinamis sendiri dimulai dengan pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu

ke waktu, lalu dilanjutkan dengan pemetaan variabel-variabel terkait yang signifikan pada model yang akan dibangun dalam simulasi dinamis. Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel sebagai arus masuk atau keluar (*rate*) atau akumulasi (*level*) dalam sistem maupun variabel yang berpengaruh dengan persamaan tertentu dalam sistem (*auxiliary*) atau variabel biasa yang didapatkan informasinya dari variabel lain. Tahap selanjutnya merupakan tahap pengembangan model dan disimulasikan untuk mengumpulkan suatu informasi ataupun pengetahuan tertentu yang nantinya bisa digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan atau kebijakan dari hasil simulasi model yang berlaku.

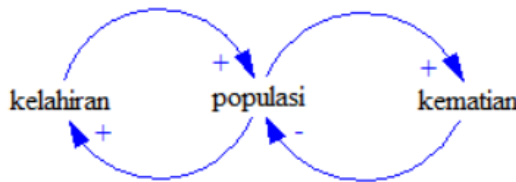
Ada dua jenis model simulasi dinamis, *Casual Loop Diagram* (CLD) untuk model konseptual yang memberikan gambaran kualitatif masalah sistem dalam model dan *Stock and Flow Diagram* (SFD) untuk menjelaskan model sistem dalam korelasi kuantitatif antara variabel dalam model. CLD berguna untuk mewakili hubungan kausal antara variabel dalam model, di sisi lain SFD mengendalikan tingkat aliran ke pemasok, membuat isu mekanisme penyesuaian dalam model yang lebih jelas, dan menunjukkan perilaku variabel dalam grafik [7].

Diagram yang pertama adalah *Causal Loop Diagram* (CLD). Diagram CLD digunakan sebagai kerangka berpikir untuk memahami hubungan sebab akibat dari suatu sistem. Hal penting yang perlu diperhatikan dari diagram CLD adalah tanda panah yang menjelaskan adanya hubungan antar variabel dalam sistem. Terdapat tanda *plus* (+) dan *minus* (-) di tanda panah yang menandakan sifat hubungan antar data. Tanda *plus* berarti meningkat atau menurunnya suatu variabel pada ekor tanda panah akan menyebabkan hal yang sama pada variabel pada kepala



panah. Tanda *minus* berarti sebaliknya, yaitu menyebabkan hal kebalikan antar variabel yang berhubungan.

Gambar 2.2 merupakan contoh penggunaan hubungan *plus minus* terhadap variabel kelahiran, kematian, dan populasi. Gambar 2.2 menjelaskan bahwa semakin naik jumlah kelahiran maka akan mengakibatkan semakin naik pula populasi, begitupun sebaliknya, hal tersebut juga berlaku untuk pengaruh populasi terhadap kelahiran dan kematian. Sebaliknya semakin tinggi kematian mengakibatkan semakin rendahnya jumlah populasi, atau hubungan yang melemahkan atau terbalik.



**Gambar 2.2 Contoh Causal Loop Diagram**

Diagram yang kedua adalah *Stock and Flow Diagram* (SFD). Diagram SFD mempelajari sistem kompleks dengan memanfaatkan konsep sebab akibat. Pendekatan sistem dinamis berhubungan dengan *feedback* dari hubungan sebab akibat antar variabel di dalam model dan ada penundaan waktu yang berpengaruh pada sistem secara keseluruhan. Pada model sistem, simulasi dinamis harus melakukan inisial waktu dan mengatur *time step* dalam satuan waktu seperti tahun, bulan, hari, atau jam, selain itu juga harus mengatur seberapa jauh *time step* pada model sistem yang akan disimulasikan. Pada diagram SFD yang digunakan untuk simulasi terdapat persamaan-persamaan yang menghubungkan antar variabel secara kompleks pada diagram SFD. Ada 3 simbol penting pada diagram tersebut, simbol-simbol

tersebut akan dijelaskan pada Secara umum langkah-langkah pembuatan model Sistem Dinamis adalah sebagai berikut:

- 1) Identifikasi masalah.
- 2) Tentukan faktor-faktor yang dominan terhadap permasalahan.
- 3) Menelusuri terbentuknya *loop* umpan balik dan interaksi antara loop satu dengan yang lainnya (CLD).
- 4) Melakukan perhitungan simulasi.
- 5) Menentukan validitas dari model yang dibuat.
- 6) Menerapkan kebijakan tertentu dalam melakukan modifikasi terhadap model.
- 7) Melakukan simulasi berikutnya dengan model yang mengalami perubahan.
- 8) Menarik kesimpulan.

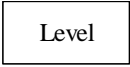


**Tabel 2.1.**

Secara umum langkah-langkah pembuatan model Sistem Dinamis adalah sebagai berikut:

- 9) Identifikasi masalah.
- 10) Tentukan faktor-faktor yang dominan terhadap permasalahan.
- 11) Menelusuri terbentuknya *loop* umpan balik dan interaksi antara loop satu dengan yang lainnya (CLD).
- 12) Melakukan perhitungan simulasi.
- 13) Menentukan validitas dari model yang dibuat.
- 14) Menerapkan kebijakan tertentu dalam melakukan modifikasi terhadap model.
- 15) Melakukan simulasi berikutnya dengan model yang mengalami perubahan.
- 16) Menarik kesimpulan.

**Tabel 2.1 Simbol dalam *Stock and Flow Diagram***

Nama	Simbol	Arti
------	--------	------

<i>Level</i>		Akumulasi dari data pada waktu sebelumnya. Mempunyai nilai inisial pada <i>time step</i> awal.
<i>Rate</i>		Arus masuk dan keluar pada level yang mempengaruhi jumlah akumulasi pada waktu selanjutnya
<i>Auxiliary</i>		Variabel yang mempengaruhi variabel lain dengan persamaan tertentu terhadap variabel lain.

Untuk melakukan perhitungan simulasi dibutuhkan beberapa fungsi. Pada model *supply* dan *demand* ini nantinya akan terdapat beberapa fungsi “*if then else*”. Fungsi ini berfungsi untuk menentukan suatu kondisi pada waktu tertentu. Fungsi tersebut juga dapat digunakan untuk beberapa kondisi. Fungsi “*if then else*” dasar memiliki dua pernyataan  $d = IF\ a\ THEN\ b\ ELSE\ c$ , yaitu jika  $a$  maka terjadilah  $b$ , jika selain itu maka terjadilah  $c$ . Hal tersebut pada Vensim diformulasikan menjadi bentuk *syntax* sebagai berikut:

$$d = IF\ THEN\ ELSE\ (a,b,c)$$

atau

$$d = IF\ THEN\ ELSE\ (time,condition,else\ condition)$$

## **2.8. *Dynamic Modeling of Household Electricity Consumption***

Pustaka ini merupakan artikel yang membahas tentang pemodelan dinamis kelistrikan pada sektor rumah tangga juga. Namun pada artikel ini data yang digunakan adalah data dari negara Nordic, Eropa Utara. Perilaku konsumen di Nordic berbeda dengan di Indonesia, dan mungkin banyak hal lain juga yang mempengaruhi perbedaan antara perkembangan kelistrikan di Nordic dan di Indonesia, khususnya Jawa Timur.

Di Nordic perusahaan yang mengelola kelistrikan adalah Nord Pool. Nord Pool Spot menjalankan pasar terbesar untuk energi listrik di Eropa, diukur dalam *volume* yang diperdagangkan dan pangsa pasar. Nord Pool ini beroperasi di Norwegia, Denmark, Swedia, Finlandia, Estonia, Latvia, Lithuania, Jerman dan Inggris [1].

Pemodelan yang dilakukan juga menggunakan *software* Vensim. Dimana dapat dilihat hasil dari simulasi pada artikel ini yaitu menunjukkan bahwa konsumsi alat listrik akan meningkat dan konsumsi listrik akan berkurang. Sebagian besar dari propagasi hemat energi teknologi pencahayaan. Oleh karena itu mereka harus dianalisis dengan hati-hati.

## **2.9. *Renewable and Sustainable Energy Reviews***

Peramalan beban (*Load Forecasting/LF*) memainkan peran penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem listrik. *Smart grid* kedepan akan memanfaatkan peramalan beban dan harga dinamis berdasarkan teknik untuk *Demand Side Manajemen* (DSM) yang efektif. Hal tersebut membuat kajian komprehensif dan komparatif dari LF dan skema harga dinamis dalam lingkungan *smart grid*. Waktu Harga Riil (RTP), Waktu Penggunaan (ToU), dan Kritis Puncak Pricing (CPP) yang dibahas dalam detail. Dua kategori utama dari LF adalah matematika dan buatan intelijen berdasarkan komputasi model

dijabarkan dengan sub kategori. Model matematik termasuk *auto recursive*, *moving average*, *auto recursive moving average*, *auto recursive integrated moving average*, *exponential smoothing*, *iterative reweighted meansquare*, *multiple regression*, dan sebagainya. *Neural networks*, *fuzzy logic*, *expert systems of the second major category of LF models* juga dideskripsikan di dalamnya [1].

## 2.10. Metode Ekonometri

Metode ekonometri adalah metode analisis yang menghitung pertumbuhan masalah dalam model dikombinasikan dengan perubahan ekonomi yang sebenarnya didasarkan pada data faktual. Metode ekonometri menggabungkan tiga ilmu pokok yang berbeda seperti ekonomi, matematika, dan statistik [8]. Hubungan antara data dari model dengan data sekunder seperti data ekonomi berubah menjadi persamaan matematika dan data yang disajikan sebagai data statistik.

Peramalan data di masa depan dengan metode ekonometri melibatkan variabel luar atau variabel sekunder terhadap variabel utama yang akan diramalkan atau *forecast*. Keterkaitan antara variabel sekunder terhadap perubahan variabel utama yang terlibat langsung memungkinkan untuk meramalkan data dengan lebih terperinci dan lebih akurat.

Metode ekonometri nantinya akan dikombinasikan dengan simulasi dinamis dengan melibatkan persamaan-persamaan ekonometri yang akan dimasukkan dalam model dinamis yang akan disimulasikan untuk meramalkan masa depan.

Adapun tujuan dari ekonometri antara lain:

- 1) Untuk memberikan kontribusi dalam membuat prediksi atau peramalan.
- 2) Untuk dapat memberikan sumbangan kepada pembuat kebijaksanaan atau mengambil keputusan yang lebih tepat serta mengevaluasi kebijaksanaan yang telah ada.

Prinsip dasar dari metode ekonometri adalah bahwa segala sesuatu dalam dunia nyata bergantung kepada sesuatu yang lain. Sedangkan kelebihan dari metode ekonometri terletak pada kemampuannya untuk menangani saling-ketergantungan (*interdependensi*). Model ekonometri dibuat untuk mendapatkan pengetahuan tentang koefisien persamaan bentuk struktural dan membuat peramalan variabel endogen terkondisikan dengan asumsi-asumsi tertentu yang diberikan pada variabel eksogen.

Dalam pemodelan ekonometri peramalan yang dilakukan meliputi variabel endogen dan variabel eksogen. Dalam metode ekonometri validasi model terbatas dalam kurun waktu tertentu dan perlunya dilakukan validasi kembali jika model akan digunakan kembali [9].

## **BAB III METODOLOGI**

Pada bab ini dijelaskan tentang bagaimana runtutan pengolahan data-data yang berkaitan dengan kebutuhan penelitian pada tugas akhir ini dan bagaimana tahap-tahap penelitian yang dilakukan.

### **3.1. Tahap Penelitian**

Tahapan penelitian tugas akhir ini akan dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 3.1. Sehingga dapat dilihat secara jelas, bagaimana alur pengerjaan penelitian dilakukan. Tahapan penelitian tersebut dilakukan sesuai dengan langkah-langkah dari analisis sistem permasalahan yang ada. Dan juga tahapan tersebut memperhatikan pembuatan pemodelan dinamis yang menggunakan pendekatan simulasi dinamis dari awal hingga akhir tahapan.

### **3.2. Penjelasan Tahapan Penelitian**

Berikut ini adalah penjelasan detail dari setiap langkah yang ada pada diagram alir tahapan penelitian yang dilakukan.

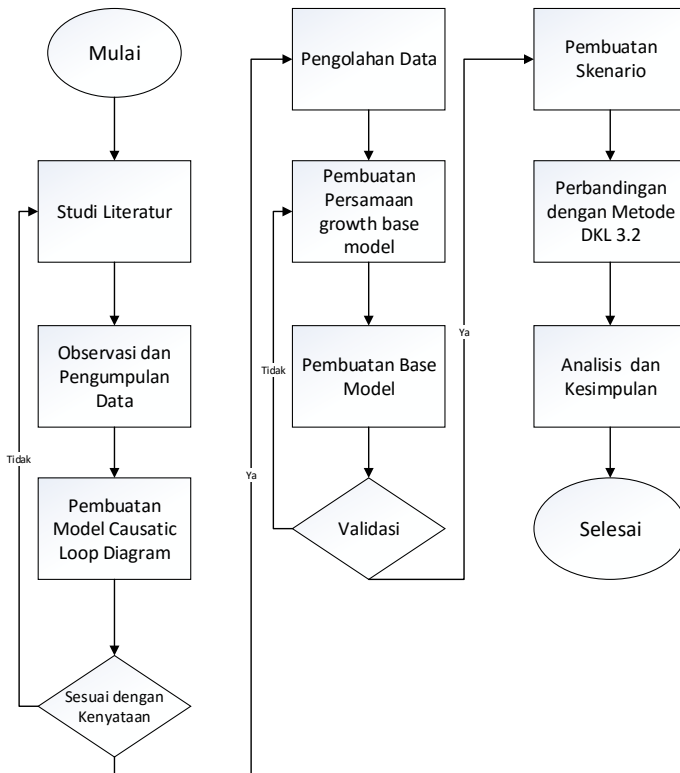
#### **3.2.1. Studi Literatur**

Pada tahap ini, akan dicari studi literatur yang relevan untuk dijadikan referensi dalam pengerjaan tugas akhir. Studi literatur ini didapatkan dari buku, internet, dan materi-materi kuliah yang berhubungan dengan metode yang akan digunakan.

#### **3.2.2. Tahap Pemahaman Sistem**

Pada tahap pemahaman kondisi dan situasi sistem dilakukan dengan tujuan untuk memahami karakteristik dan permasalahan yang terjadi pada sistem yang akan dibuat modelnya. Tahap ini juga dilakukan untuk memahami hubungan

variabel-variabel yang terkait dalam sistem. Pemahaman sistem dimulai dengan menyelaraskan antara latar belakang masalah, rumusan masalah, dan tujuan yang ingin dicapai. Setelah selaras lalu dikaji kondisi dan situasi dari sistem saat ini dengan melakukan observasi pada data-data yang diperoleh sebelumnya dan melakukan kajian pustaka terkait dengan sistem.



**Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian**



Di dalam sistem tentu terdapat komponen-komponen atau variabel yang saling mempengaruhi oleh suatu hubungan sebab akibat tertentu. Komponen-komponen tersebut jika mempunyai pengaruh signifikan terhadap komponen-komponen lainnya pada sistem maka termasuk variabel signifikan yang harus dipetakan dan ditentukan parameter apa saja yang mempengaruhi setiap variabel signifikan tersebut. Hubungan sebab akibat antar variabel pada sistem menyebabkan variabel signifikan satu menjadi parameter bagi variabel signifikan lainnya. Penjabaran parameter variabel signifikan pada model harus secara sistematis agar tidak menyalahi kaidah model yang baik. Hasil dari identifikasi bertujuan untuk penyusunan variabel pada tahap pembuatan *Causal Loop Diagram* (CLD).

### **3.2.3. Observasi Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data**

Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya dari sistem. Maksud dari observasi lapangan ini adalah sebagai acuan dalam pembuatan model karena pada dasarnya pembuatan model tergantung pada kondisi riil di lapangan sehingga model yang dibuat dapat menggambarkan keadaan nyata dari sistem. Serta mengobservasi perilaku dari sektor fasilitas umum di Jawa Timur. Data yang digunakan didapatkan dari PT.PLN Persero P3B dan PLN Distribusi Jawa Timur serta BPS Jawa Timur.

### **3.2.4. Pembuatan Model *Causal Loop Diagram* (CLD)**

Saat seluruh variabel signifikan parameter yang mempengaruhinya selesai diidentifikasi, selanjutnya

dilakukan pengembangan CLD sebagai kerangka berpikir dari model simulasi dinamis. Pengembangan CLD digunakan untuk menggambarkan bagaimana hubungan dan keterkaitan antar variabel serta parameternya pada sistem. Pada saat pengembangan CLD sangat mungkin terjadi kekurangan atau ketidakcocokan variabel dan parameter yang ada pada sistem sehingga perlu dilakukan penambahan, perubahan, ataupun pengurangan variabel dan atau parameter agar kerangka berpikir pada CLD tidak salah dan mengakibatkan proses simulasi dinamis pada model tidak sesuai pada langkah selanjutnya.

### **3.2.5. Pembuatan Model *Stock and Flow Diagram* (SFD)**

Tahap ini dilakukan dengan didasari dari pengembangan CLD. *Stock and Flow Diagram* (SFD) merupakan cerminan dari proses bisnis dari sistem yang memungkinkan untuk dieksplorasi perilakunya dan diuji pengaruh perubahan pada struktur dan ketentuan yang mengatur perilakunya.

Pada SFD konseptual di CLD diubah lebih ke arah model yang dapat disimulasikan. SFD merupakan tahap paling penting karena merepresentasikan simulasi model dari sistem yang sebenarnya terjadi dan simulasinya sendiri sesuai dengan pendekatan simulasi dinamis.

### **3.2.6. Pengolahan Data**

Pada tahap ini data yang berasal dari PLN serta BPS akan diolah. Data tersebut meliputi data GI (Gardu Induk) , data *demand* sosial dan publik, dan data PRDB.

Dari data yang diolah dapat diketahui berapa persen pertumbuhan data tersebut dari data sebelumnya.

### **3.2.7. Tahap Penentuan Ekuasi**

Pada SFD model sistem terdapat komponen-komponen berupa parameter, *rate*, *level*, *auxiliary*. Setiap komponen pada SFD menggambarkan konseptual dari sistem sebenarnya sehingga agar model dapat disimulasikan maka setiap komponen dari model harus diberikan suatu formula atau ekuasi tertentu secara kuantitatif. Ekuasi didapatkan dari observasi pada variabel-variabel sistem dan dicari keterkaitannya dengan kajian pustaka. Penentuan formula dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang mendukung pendekatan simulasi dinamis, pada tugas akhir ini aplikasi yang digunakan adalah *software* Minitab 17.

### **3.2.8. Tahap Pembuatan Model Simulasi**

Tahap ini dapat dilakukan setelah tahap penentuan formula selesai. Dengan adanya ekuasi pada tiap variabel pada model maka simulasi dapat dilakukan. Hal yang perlu diperhatikan pada simulasi adalah diperlukannya masukan data sekunder untuk masukan pada variabel dasar penentu hasil ekuasi. Data-data sekunder tersebut bersifat historis yang merepresentasikan kondisi sistem pada suatu waktu dulu hingga saat ini. Hasil proyeksi jangka panjang dari simulasi diperoleh dengan menggunakan masukan data sekunder.

### **3.2.9. Tahap Uji Validasi**

Tahap uji validasi dilakukan untuk menentukan seberapa akurat hasil dari proyeksi dengan menggunakan data historis yang ada dengan ekuasi yang sudah ditentukan. Validasi dilakukan dengan membandingkan

data hasil dari simulasi terhadap data sebenarnya atau data asli.

Ada dua uji validasi yang dilakukan, yaitu uji *error* rata-rata (*error mean*) yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1 dan uji variasi amplitudo grafik (*error variance*) yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2.

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (3.1)$$

$$E2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A} \quad (3.2)$$

$\bar{S}$  merupakan rata-rata dari data model, sedangkan  $\bar{A}$  merupakan rata-rata dari data sebenarnya.  $S_s$  merupakan standar deviasi dari data model, sedangkan  $S_A$  merupakan standar deviasi dari data sebenarnya. Kedua uji validasi tersebut menghasilkan suatu model yang valid jika nilai  $E1 \leq 5\%$  dan nilai dari  $E2 \leq 30\%$  [6]. Apabila belum didapatkan data yang valid maka model harus diulangi dari tahap pemahaman sistem lagi hingga model valid dan dianggap bisa menjadi *base model* dari model sistem yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. *Output* dari tahap ini menghasilkan suatu *base model*.

### 3.2.10. Tahap Pembuatan Skenario

Tahap ini bertujuan untuk melihat perbandingan hasil dari model, jika terjadi perubahan data pada faktor-faktor yang mempengaruhi model. Selain itu skenario juga dibuat untuk meningkatkan *performance* sistem, sebagai bahan evaluasi dan perancangan kebijakan.

Perancangan kebijakan mempertimbangkan analisis dampak yang ditimbulkan, kehandalan model pada skenario yang berbeda dengan tingkat ketidakpastian yang

berbeda pula serta keterkaitan antar kebijakan agar dapat bersinergi.

Terdapat tiga skenario yang dikembangkan pada tahap ini, yaitu skenario optimis, pesimis, dan *most-likely*. Skenario optimis merepresentasikan peningkatan yang lebih pada hasil simulasi model, sedangkan skenario pesimis merupakan kebalikannya. Skenario *most-likely* merupakan proyeksi di masa depan dari *base model* yang tidak diubah.

### **3.2.11. Tahap Analisis Perbandingan**

Setelah hasil simulasi tahap skenario diperoleh maka dapat dilakukan perbandingan antara hasil simulasi ketiga skenario yang sudah disebutkan sebelumnya. Hasil perbandingannya akan dievaluasi dan dianalisis untuk menentukan semua kemungkinan yang bisa terjadi di masa depan. Pada tahap ini, membandingkan metode simulasi dinamis dengan metode DKL 3.2 dengan membandingkan *error* yang terjadi di antara kedua metode tersebut.

### **3.2.12. Analisis dan Kesimpulan**

Setelah mensimulasikannya ke dalam Vensim, maka langkah selanjutnya adalah memberikan analisis dan kesimpulan terhadap penelitian tugas akhir yang telah dilakukan, dimana hasil dari analisis dan kesimpulan ini dapat menjadi acuan untuk menentukan rekomendasi atau kebijakan.

Pada tahap ini didapatkan hasil berupa kesimpulan dari hasil simulasi yang bisa dijadikan acuan sebagai pengambilan keputusan dan atau kebijakan terkait sebagai tindak lanjut dari proyeksi yang dilakukan pada simulasi yang mungkin terjadi di masa depan. Serta saran terhadap tugas akhir ini juga didapatkan untuk hasil yang lebih baik bagi penelitian selanjutnya.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

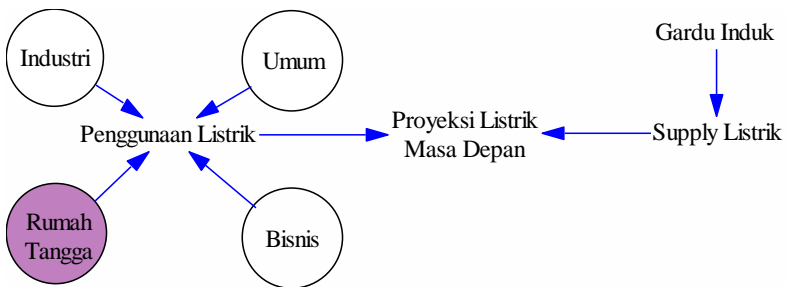
## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang pengolahan data-data yang berkaitan dengan kebutuhan penelitian pada tugas akhir ini dan penjelasan analisis yang dilakukan serta pembahasannya.

#### **4.1. Gambaran Umum**

Listrik Jawa Timur dipasok dari gardu dan didistribusikan ke sektor Sosial dan Umum di Jawa Timur. Ada 16 APJ (Area Pengatur Jaringan) di Jawa Timur, setiap APJ mempunyai perilaku permintaan yang berbeda. Penelitian ini menggabungkan data permintaan semua listrik dari semua 16 APJ di Jawa Timur.

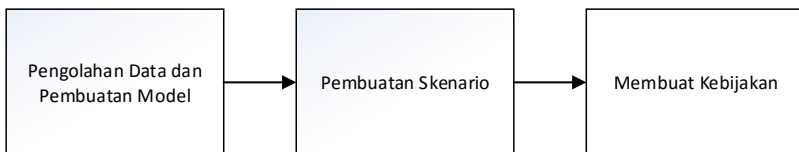


**Gambar 4.1 Bentuk Model Secara Umum**

Gambar 4.1 merupakan bentuk model yang akan dibuat secara umum. Pada penggunaan listrik sektor industri, umum, dan bisnis akan dikerjakan oleh anggota kelompok lainnya, dikarenakan tugas akhir ini bersifat kelompok. Dalam tiap-tiap 4 sektor terdapat beberapa perbedaan seperti faktor-faktor yang berkaitan dengan penggunaan dan perkembangan listrik.

Untuk sektor rumah tangga sendiri yang terdiri dari tarif bersubsidi dan tidak bersubsidi. Pada tarif bersubsidi, Indonesia mempunyai 2 tarif tipe, R1 dengan besar tegangan s.d. 450 VA dan R1 dengan besar tegangan s.d. 900 VA. Sedangkan untuk tarif tidak bersubsidi terdapat 4 tipe tarif, yaitu R1 dengan besar tegangan 1300 VA, R1 dengan besar tegangan 2200 VA, R2 dengan besar tegangan 3500-5500 VA, dan R3 dengan besar tegangan di atas 6600 VA. Pada *supply* listrik sendiri dipasok oleh gardu induk. Untuk proyeksi listrik masa depan didapat dengan menggunakan data *supply* listrik dan penggunaan listrik.

Pada setiap tarif pada sektor rumah tangga, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti faktor PDRB yang mempengaruhi pertumbuhan serta penggunaan listrik tiap-tiap tarif juga faktor pertumbuhan penduduk rumah tangga yang mempengaruhi jumlah permintaan nantinya.



**Gambar 4.2 Gambaran Umum Sistem**

Gambar 4.2 merupakan gambaran secara umum pengerjaan tugas akhir ini. Pertama merupakan pengolahan data serta pembuatan model dari keseluruhan sistem. Setelah semua model telah diverifikasi serta layak dianggap sebagai model yang valid, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan skenario. Skenario yang digunakan bisa lebih dari 2, sesuai kebutuhan dan kondisi. Setelah skenario selesai dibuat maka hasil dari skenario tersebut dapat dijadikan acuan



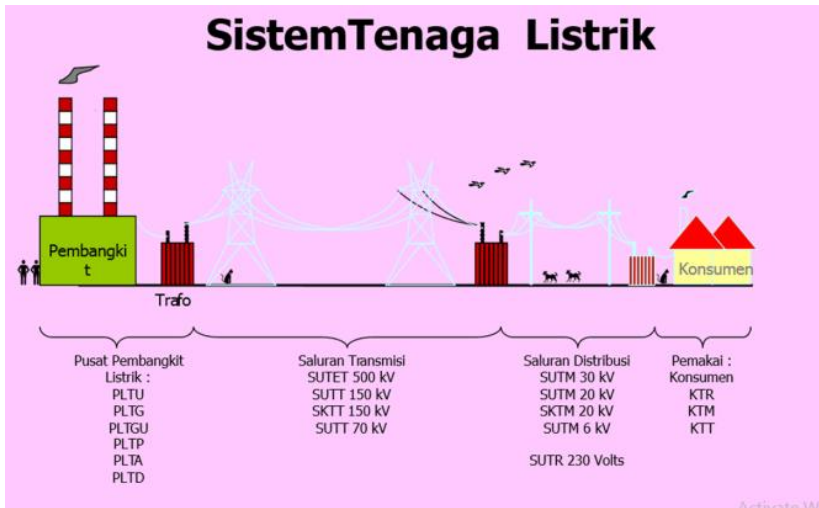
untuk membuat kebijakan ke depannya, seperti penambahan GI (Gardu Induk), penambahan daya, serta data proyeksi skenario di masa depan dapat digunakan pada tugas akhir yang lain.

## **4.2. Pengumpulan Data**

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dan pengolahannya. Data-data yang dimaksud adalah data-data yang mendukung penelitian pada tugas akhir ini.

### **4.2.1. Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik di Jawa Timur terbagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi. Pada sistem pembangkit dijelaskan tentang proses produksi listrik dari berbagai macam pembangkit. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 macam pembangkit yang ada di Jawa Timur ada 6, yaitu PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, dan PLTD. Pada sistem transmisi menjelaskan proses gardu induk (*supply*). Dimana pada bagian ini terjadi transfer energi listrik antar gardu induk bertegangan tinggi. Terdapat beberapa macam gardu induk tegangan tinggi, antara lain SUTET 500 kV, SUTT 150 kV, SKTT 150 kV, dan SUTT 70 kV. Dan pada sistem distribusi menjelaskan tentang sisi penyaluran energi terhadap konsumen (*demand*). Hal tersebut terjadi dari jaringan gardu induk tegangan menengah ke tegangan rendah atau konsumen. Masing-masing proses akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab berikutnya.



**Gambar 4.3 Sistem Tenaga Listrik Jawa Timur**

Keterangan :

- PLTA : Pusat Listrik Tenaga Air
- PLTD : Pusat Listrik Tenaga Diesel
- PLTG : Pusat Listrik Tenaga Gas
- PLTGU : Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap
- PLTM : Pusat Listrik Tenaga Mikro Hidro
- PLTP : Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi
- PLTU : Pusat Listrik Tenaga Uap
- SUTET : Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (500 kV)
- SUTM : Saluran Udara Tegangan Menengah (6 kV, 20 kV)
- SUTR : Saluran Udara Tegangan Rendah (220 V, 380V)
- SUTT : Saluran Udara Tegangan Tinggi (70 kV, 150 kV)
- SKTT : Saluran Kabel Tegangan Tinggi

SKTM : Saluran Kabel Tegangan Menengah  
KTR : Kabel Tegangan Rendah  
KTM : Kabel Tegangan Menengah  
KTT : Kabel Tegangan Tinggi

#### **4.2.1.1 Pasokan Energi (*Supply*)**

Data pasokan energi yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah data pasokan energi Jawa Timur. Pada provinsi Jawa Timur pasokan terdiri dari 98 gardu induk. Dengan rincian 35 gardu di bagian tengah, 29 gardu di bagian timur, dan 34 gardu di bagian barat.

Nama-nama gardu induk tersebut antara lain:

- a. Pada bagian tengah: Alta Prima, Babadan, Balong Bendo, Bangkalan, Buduran, Cerme, Darmo Grand, Driyorejo, Gilitimur, Karang Pilang, Kasih Jatim, Kenjeran, Krembangan, Krian, Kupang, Manyar, Ngangel, Pamekasan, Perak, Petrokimia, Porong, Rungkut, Sampang, Sawahan, Segoromadu, dan Sidoarjo.
- b. Pada bagian timur: Bangil, Banyuwangi, Blimbing, Bondowoso, Bulu Kandang, Bumicokro, Genteng, Gondang Wetan, Grati, Jember, Karang Kates, Kebon Agung, Kraksaan, Lawang, Lumajang, Paiton, Pakis, Pandaan, Pier, Polehan, Probolinggo, Purwosari, Selorejo, Sengguruh, Sengkaling, Situbondo, Sukorejo, Tanggul, dan Turen.
- c. Pada bagian barat: Babat, Banaran, Blitar, Bojonegoro, Caruban, Dolopo, Gitet Kediri, Jaya Kertas, Jombang, Lamongan, Magetan, Manisrejo, Mliwang, Mojoagung,

Mojokerto, Mranggen, New Pacitan, Nganjuk, Ngawi, Ngimbang, Ngoro, Paciran, Pare, Ploso, PLTA Tulungagung, PLTU Pacitan (Sudimoro), Ponorogo, Siman, Tarik, Trenggalek, Tuban, Tulungagung, dan Wlingi.

Pembagian pemeliharaan pasokan ini dikelompokkan dalam empat Area Pelaksana Pemeliharaan (APP). Area Pelaksana Pemeliharaan di Jawa Timur yaitu Surabaya, Malang, Madiun, dan Probolinggo.

Terdapat tiga macam gardu induk pada saluran transmisi, yang pertama adalah GITET (Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi) 500 kV, gardu induk 150 kV, dan gardu induk 70 kV [10].

Pada penelitian ini akan digunakan tiga sampel area, yaitu Surabaya Utara, Bojonegoro, dan Mojokerto. Gardu induk yang mensuplai pasokan energi listrik pada ketiga area tersebut dijelaskan pada Tabel 4.1 untuk area Bojonegoro, Tabel 4.2 untuk area Mojokerto, dan Tabel 4.3 untuk area Surabaya Utara.

**Tabel 4.1 Gardu Induk Area Bojonegoro**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Lamogan	2.160.000.000
GI Mliwang	1.440.000.000
GI Paciran	1.440.000.000
GI Tuban	2.160.000.000
GI Bojonegoro	3.360.000.000
GI Babat	1.440.000.000

**Tabel 4.2 Gardu Induk Area Mojokerto**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Ngoro	4.320.000.000
GI Mojokerto	4.320.000.000
GI Kertosono	1.440.000.000
GI Mojoagung	1.440.000.000
GI Nganjuk	1.680.000.000
GI Ngimbang	1.440.000.000
GI Ploso	1.920.000.000
GI Siman	720.000.000
GI Tarik	480.000.000
GI Jaya Kertas	1.440.000.000
GI Jombang	1.440.000.000

Pada tabel tersebut kapasitas daya tampung merupakan total maksimal pasokan listrik yang dapat didistribusikan, sedang jumlah persentase tersebut adalah jumlah persen pasokan listrik yang didistribusikan gardu induk tersebut kepada pelanggan di area terkait. Dimana area-area yang dimaksud adalah area pengatur jaringan (APJ) yang akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab berikutnya.

#### **4.2.1.2 Permintaan Energi (*Demand*)**

Data permintaan energi yang digunakan adalah data permintaan energi Jawa Timur tahun 2012-2016. Permintaan energi memiliki satuan *kilowatt hour* (kWh). Pada proses permintaan energi ini juga dibagi menjadi beberapa area jaringan distribusi atau biasa disebut APJ (Area Pengatur

Jaringan). Adapun sebaran jumlah APJ yang dimiliki PLN Distribusi Jawa Timur terdiri dari 5 (lima) Area berada di wilayah Metropolis meliputi Area Surabaya Utara, Area Surabaya Selatan, Area Surabaya Barat, Area Sidoarjo, dan Area Gresik. Sedangkan sebaran APJ yang berada di wilayah non metropolis sebanyak 11 (sebelas) Area meliputi Area Malang, Area Madiun, Area Pasuruan, Area Ponorogo, Area Jember, Area Banyuwangi, Area Kediri, Area Bojonegoro, Area Mojokerto, Area Pamekasan dan Area Situbondo. Selain itu Jawa Timur juga memiliki 113 rayon dan 1 Area Pengatur Distribusi (APD) [10].

**Tabel 4.3 Gardu Induk Area Surabaya Utara**

Nama Gardu Induk	Kapasitas Daya Tampung Maksimal dalam 1 Bulan (VA)
GI Tandes	2.040.000.000
GI Perak	1.440.000.000
GI Krembangan	3.840.000.000
GI Alta Prima	604.800.000
GI Kenjeran	3.840.000.000
GI Kupang	2.880.000.000
GI Ngagel	518.400.000
GI Sawahan	2.640.000.000
GI Simpang	2.208.000.000
GI Ujung	1.440.000.000
GI Undaan	1.440.000.000

Pada penelitian ini akan diambil 3 sampel APJ, yaitu Area Surabaya Utara sampel dari APJ metropolis dimana padat penduduk, Area Bojonegoro sampel dari APJ non

metropolis, dan Area Mojokerto sebagai sampel APJ yang didominasi oleh pabrik industri. Selain sampel-sampel tersebut tentunya data permintaan energi total Jawa Timur untuk sektor rumah tangga akan tetap digunakan.

#### **4.2.2. Pemahaman Sistem dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi**

Sub bab ini membahas tentang pemahaman sistem kelistrikan yang mempengaruhi model. Selain itu juga hubungan antar data dari variabel sekunder ke variabel primer, yaitu variabel kelistrikan pada data PLN.

Pertama, variabel daya tersambung dengan satuan VA merupakan daya maksimal yang bisa dipakai pelanggan pada satu waktu tertentu, jika daya yang digunakan melebihi daya terpasang maka sekering listrik akan *off* dan listrik mati karena melebihi tegangan maksimal. Rumus daya terpasang sendiri dijelaskan dalam Persamaan 4.1.

$$P = V \times I \quad (4.1)$$

Pada Persamaan 4.1  $P$  merupakan daya terpasang pelanggan, yaitu daya maksimal yang dapat digunakan pelanggan tersebut.  $V$  adalah tegangan listrik maksimal yang didapat pada semua peralatan listrik atau elektronik pelanggan dalam satu waktu.  $I$  adalah arus listrik maksimal yang mengalir di kabel listrik pelanggan saat peralatan elektronik digunakan.

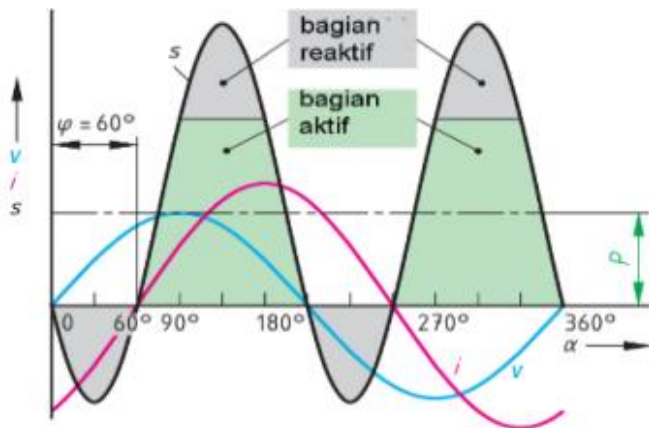
Variabel kedua adalah variabel energi listrik. Energi listrik adalah daya listrik aktif yang dipakai dengan lama suatu waktu tertentu. Misal penggunaan daya sebanyak 300 *watt*

dalam waktu 1 jam. Daya aktif dijelaskan dalam Persamaan 4.2, sedangkan energi listrik dijelaskan dalam persamaan 4.3.

$$P_a = V \times I \times \cos \varphi \quad (4.2)$$

$$W = P_a \times \Delta t \quad (4.3)$$

$P_a$  pada Persamaan 4.2 dan 4.3 adalah daya aktif, yaitu secara nyata benar-benar digunakan oleh beban kebutuhan listrik dari peralatan elektronik pelanggan. Satuan dari daya aktif adalah *watt*.  $V$  dan  $I$  pada Persamaan 4.2 dan 4.3 sama dengan Persamaan 4.1. Sedangkan  $\cos \varphi$  adalah faktor daya atau sudut fasa dari penggunaan listrik, dijelaskan dalam Gambar 4.4 nilai  $\cos \varphi$  pada daya aktif PLN normalnya adalah 0,8. Sehingga untuk mengubah dari daya tersambung menjadi daya aktif yang digunakan nilainya harus dikalikan dengan nilai  $\cos \varphi$  normal 0,8 [11].



**Gambar 4.4 Sudut fasa daya aktif reaktif listrik**



Ada beberapa variabel sekunder yang mempengaruhi perubahan konsumsi listrik secara keseluruhan, misalnya pertumbuhan penduduk, ukuran rata-rata rumah tangga, jumlah peralatan, jumlah tempat tinggal, pertumbuhan ekonomi, metode pemanasan tempat tinggal, efisiensi energi tempat tinggal dan efisiensi energi peralatan. Namun terdapat dua faktor yang sangat berpengaruh yaitu pertumbuhan populasi rumah tangga dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) atau juga biasa disebut *Gross Domestic Product* (GDP).

Secara tidak langsung PDRB mempengaruhi penggunaan energi listrik sehingga kebutuhan energi listrik naik seiring dengan pertumbuhan PDRB. Satuan PDRB rupiah sehingga tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan variabel energi listrik. Hubungan tidak langsung pada model didapatkan dari pertumbuhan PDRB terhadap pertumbuhan kebutuhan energi listrik tiap tarif industri PLN di Jawa Timur. Hal tersebut dikarenakan satuan pertumbuhan baik listrik maupun PDRB dalam bentuk persen sehingga secara satuan hubungan kedua variabel tersebut benar. Hubungan antar variabel benar jika satuan variabel-variabel dalam model tersebut dapat dikonversikan dengan benar pula.

Rumah tangga yang tidak bersubsidi mendapat pengaruh yang lebih besar dari pertumbuhan ekonomi dan rumah tangga bersubsidi mendapat pengaruh lebih besar dari pertumbuhan penduduk. Hal tersebut yang mendasari pemetaan faktor pada tiap tarif.

#### **4.2.2.1. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)**

Data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Timur. Di mana data yang didapat adalah data PDRB tahun 2012, 2013,

dan 2014. Dalam data tersebut dapat dilihat secara spesifik perhitungan PDRB berdasarkan 3 (tiga) macam, yaitu menurut komponen penggunaan, menurut komponen pengeluaran, dan menurut lapangan usaha.

Pada pengerjaan tugas akhir ini dibutuhkan data yang secara spesifik mempengaruhi pertumbuhan permintaan energi dalam sektor rumah tangga. Dengan dokumentasi BPS yang rinci, maka didapatkan data yang bisa dimasukkan sebagai faktor pada sektor rumah tangga ini.

Data-data yang digunakan untuk sektor rumah tangga meliputi:

1. Data PDRB menurut komponen pengeluaran
  - Pengeluaran Konsumsi Rumah Tangga
2. Data PDRB menurut lapangan usaha
  - Jasa perorangan dan rumah tangga
3. Data PDRB menurut komponen penggunaan
  - Konsumsi rumah tangga (makanan dan bukan makanan)
4. Data total PDRB Jawa Timur

Data PDRB diolah dengan mencari pertumbuhan data PDRB yang berpengaruh pada pertumbuhan permintaan listrik. Pengolahan data dilakukan tiap komponen data PDRB.

Data yang ada pada BPS adalah data tiap triwulan. Sedangkan perhitungan pada pemodelan menggunakan waktu tiap bulan, maka data PDRB triwulan tersebut diasumsikan dibagi rata hingga didapat data tiap bulannya. Data pertumbuhan yang dipakai juga merupakan data pertumbuhan tiap bulannya. Tabel 4.4 menunjukkan pengolahan data PDRB tiap komponen.

**Tabel 4.4 Data Pertumbuhan PDRB Tiap Komponen**

<b>Bulan Ke</b>	<b>Lapangan Usaha</b>	<b>Penggunaan</b>	<b>Pengeluaran</b>
2	0,00%	0,00%	0,00%
5	2,97%	2,72%	4,46%
8	7,83%	5,08%	5,64%
11	10,93%	2,35%	2,19%
14	-9,69%	2,02%	-1,00%
17	5,57%	3,99%	2,68%
20	7,14%	5,96%	6,33%
23	7,26%	4,15%	4,04%
26	0,45%	1,80%	-0,35%
29	5,39%	3,94%	2,22%
32	0,06%	5,41%	5,29%
35	8,77%	2,87%	-3,09%

Berdasarkan data hasil olahan Tabel 4.4 dapat kita tentukan persamaan sinus untuk dimasukkan pada model dinamis nantinya. Persamaan sinus diolah menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab. Kemudian kita menggunakan '*sin3*', dikarenakan jumlah data yang terbatas.

Untuk memuat dan mengolah data yang diperlukan pada Matlab digunakan beberapa kode yang ditunjukkan pada Kode Sumber 4.1 dan Kode Sumber 4.2.

1	Load enso;
2	A = fit ( Bulan, Angkutan, 'Sin3' );

**Kode Sumber 4.1 Membuat fungsi sinus pada Matlab**

Pada subbab sebelumnya dijelaskan bahwa pendekatan persamaan yang mendekati naik turunnya grafik

PDRB adalah grafik sinus. Matlab digunakan untuk mencari pendekatan grafik sinus terhadap waktu yang sesuai dan grafik yang sesuai untuk ekuasi pertumbuhan PDRB rumah tangga direpresentasikan pada Persamaan 4.4.

$$\begin{aligned}
 x = & a1 \times \sin(b1 \times time + c1) + a2 \\
 & \times \sin(b2 \times time + c2) \\
 & + a3 \times \sin(b3 \times time \\
 & + c3)
 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Pedekatan grafik seperti grafik sinus pada Persamaan 4.4 disebut *curve fitting*, yaitu mencari fungsi grafik yang medekati nilai dari data-data di masa lalu. Gambar 4.5 menunjukkan contoh *curve fitting* pada PDRB rumah tangga.

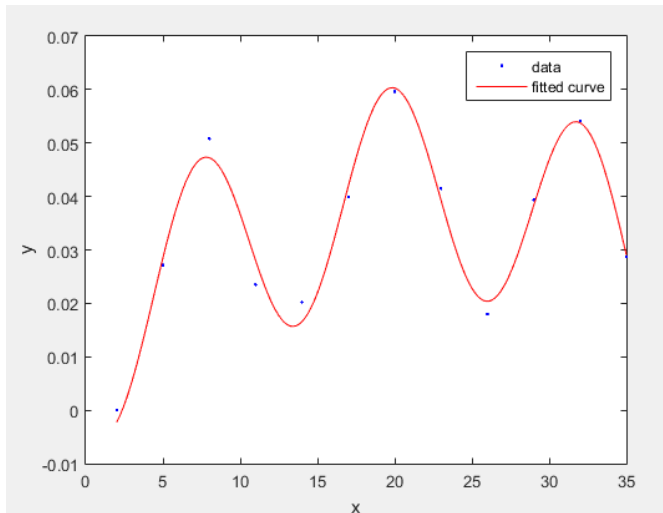
1	Plot = (a, Bulan, Angkutan);
---	------------------------------

**Kode Sumber 4.2 Untuk menampilkan *curve fitting* dari data**

Persamaan hasil Matlab inilah yang nantinya akan digunakan sebagai pertumbuhan PDRB pada model. Pertumbuhan PDRB didapatkan dengan menggunakan pendekatan penjumlahan tiga grafik sinus seperti pada Persamaan 4.4. Dengan nilai  $x$  adalah *growth factor* dan nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  merupakan koefisien yang didapatkan dengan akurasi lebih dari 95% (data terlampir).

Pada subbab diagram *causal loop* telah dijelaskan bagaimana pemetaan jenis-jenis PDRB terhadap tarif rumah tangga di PLN. Terdapat tiga jenis PDRB rumah tangga yang berbeda sehingga terdapat pula 3 ekuasi pada tiap jenis PDRB

berbeda seperti pada Persamaan 4.4 dengan koefisien yang berbeda pula.



**Gambar 4.5 Curve Fitting PDRB Rumah Tangga**

#### **4.2.2.2. Pertumbuhan Penduduk Jawa Timur**

Data pertumbuhan penduduk Jawa Timur juga didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS). Untuk perhitungan konsumsi energi listrik dibutuhkan data setiap rumah tangga bukan data per jiwa, dikarenakan konsumsi listrik yang memang perhitungannya menggunakan data setiap rumah tangga.

Data yang didapatkan dari BPS berupa data tabel jumlah rumah tangga tahun 2012-2015 menurut kabupaten/kota. Dari data tersebut dapat ditemukan pertumbuhan rumah tangga Jawa Timur.

Data yang didapatkan adalah data per tahun, maka diperlukan pengolahan data agar didapatkan data pertumbuhan setiap bulannya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mencari

pertumbuhan jumlah rumah tangga per tahun. Langkah selanjutnya adalah dengan membagi pertumbuhan per tahun itu menjadi per bulan. Dan dikarenakan data faktor PDRB yang didapat adalah data triwulan maka perhitungan data pertumbuhan penduduk ini juga dibuat sama menjadi perhitungan per triwulan, dengan data tengah yang diambil untuk perhitungan. Asumsi tersebut digunakan karena keterbatasan data yang didapat.

Lakukan pengolahan data yang sama dengan pengolahan data PDRB. Perbedaannya dengan data ini adalah data ini merupakan data per tahun, maka pengolahan yang harus dilakukan yaitu dengan membuatnya menjadi data per triwulan, lalu data per bulan. Tabel 4.5 menunjukkan pengolahan data populasi tiap area.

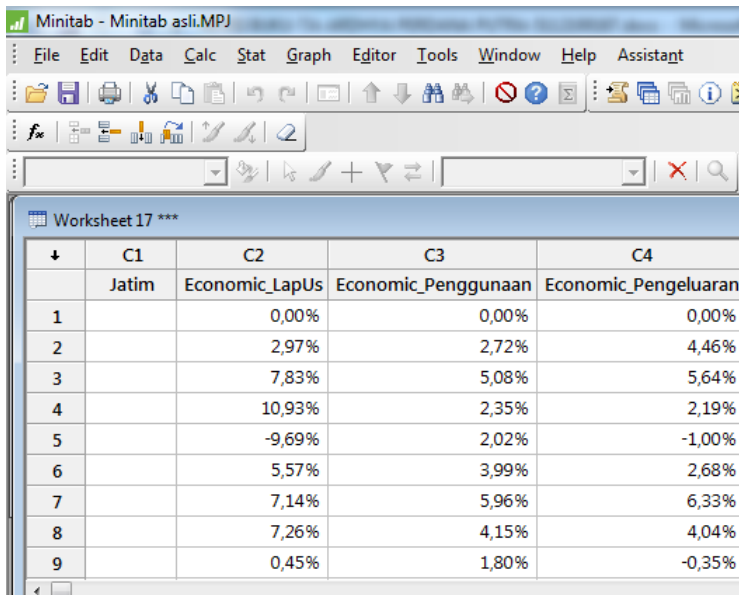
**Tabel 4.5 Pertumbuhan Penduduk (Rumah Tangga)**

<b>Bulan Ke</b>	<b>Population BGR</b>	<b>Population MJK</b>	<b>Population SBU</b>	<b>Population Jatim</b>
2	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	0,09%	0,30%	0,92%	0,16%
8	0,11%	0,30%	0,30%	0,20%
11	0,12%	0,50%	0,50%	0,24%
14	0,09%	0,12%	0,14%	0,08%
17	0,03%	0,13%	0,15%	0,14%
20	0,12%	0,20%	0,20%	0,19%
23	0,13%	0,26%	0,22%	0,24%
26	0,02%	0,18%	0,13%	0,12%
29	0,06%	0,05%	0,10%	0,14%
32	0,11%	0,11%	0,11%	0,15%
35	0,12%	0,17%	0,17%	0,16%

Persamaan hasil olahan data pada Tabel 4.5 sama seperti Persamaan 4.4 hanya saja koefisiennya yang berbeda.

#### 4.2.2.3. Perhitungan Ekonometri Rumah Tangga

Pada subbab ini, akan dijelaskan langkah perhitungan persamaan ekonometri. Pertama masukkan data pertumbuhan prosentase pada setiap triwulan serta tarif yang berhubungan dengan PDRB yang terkait pada Minitab seperti pada Gambar 4.6. Maka pada setiap tarif dan APJ persamaan yang digunakan akan berbeda.

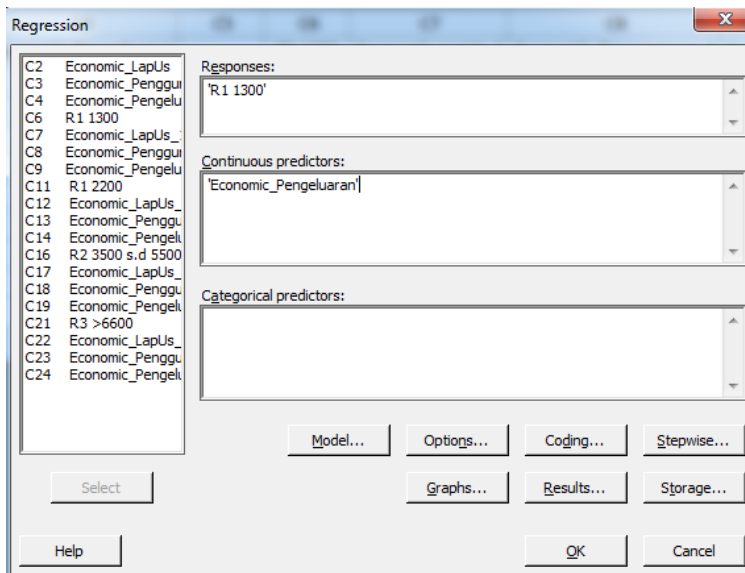


The screenshot shows the Minitab software interface with a worksheet titled 'Worksheet 17 \*\*\*'. The worksheet contains a table with 5 columns: a row number column (1-9), 'C1' (Jatim), 'C2' (Economic\_LapUs), 'C3' (Economic\_Penggunaan), and 'C4' (Economic\_Pengeluaran). The data represents percentage growth over 9 periods.

	C1	C2	C3	C4
	Jatim	Economic_LapUs	Economic_Penggunaan	Economic_Pengeluaran
1		0,00%	0,00%	0,00%
2		2,97%	2,72%	4,46%
3		7,83%	5,08%	5,64%
4		10,93%	2,35%	2,19%
5		-9,69%	2,02%	-1,00%
6		5,57%	3,99%	2,68%
7		7,14%	5,96%	6,33%
8		7,26%	4,15%	4,04%
9		0,45%	1,80%	-0,35%

**Gambar 4.6 Contoh List Data Persentase Pertumbuhan Untuk Mencari Persamaan Ekonometri**

Kemudian klik *fit model* pada menu *tab Stat*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7 Tampilan Pada Menu *Fit Model***

Kemudian pilih kolom mana yang akan dicari persamaannya, sehingga dipilih tarif dan PDRB yang bersangkutan. Setelah itu klik *Ok*.

Gambar 4.8 menunjukkan hasil perhitungan dari Minitab, apabila *R-Square* mendekati 100% dan *P-Value* mendekati 0% maka fungsi yang didapatkan dapat digunakan. Apabila syarat tersebut tidak terpenuhi maka perlu dicari fungsi yang lain, *error* yang terjadi dikarenakan keterbatasan data serta kecocokan data yang didapatkan dari BPS dan PLN.

#### **4.2.3. Penggolongan dan Pemetaan Tarif**

Pada sektor rumah tangga terdiri dari enam bagian tarif, di mana dari keenam tarif tersebut dikelompokkan berdasarkan tarif yang bersubsidi dan tarif yang tidak bersubsidi.

Pembagian tarif sektor rumah tangga:



Tarif yang mendapatkan subsidi pemerintahan:

1. Tarif R-1 TR s/d 450 VA
2. Tarif R-1 TR s/d 900 VA

Tarif yang tidak mendapatkan subsidi pemerintahan:

1. Tarif R-1 TR 1300 VA
2. Tarif R-1 TR 2200 VA
3. Tarif R-2 TR 3500 VA s/d 5500 VA
4. Tarif R-3 TR >6600 VA keatas

### Regression Analysis: R2 900 versus Population Growth\_2

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0,017355	0,017355	14,64	0,163
Population Growth_2	1	0,017355	0,017355	14,64	0,163
Error	1	0,001186	0,001186		
Total	2	0,018541			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0344329	93,61%	87,21%	0,00%

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,0046	0,0341	0,14	0,914	
Population Growth_2	45,8	12,0	3,83	0,163	1,00

#### Regression Equation

$$R2\ 900 = 0,0046 + 45,8 \text{ Population Growth}_2$$

**Gambar 4.8 Hasil Perhitungan Persamaan Ekonometri**

## 4.3. Identifikasi Variabel Signifikan

Pengembangan perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga di Jawa Timur pada tugas

akhir ini berfokus pada peramalan jumlah kebutuhan energi listrik di masa depan sehingga dapat diketahui seberapa besar dan kapan pasokan energi listrik yang dibutuhkan di masa depan, ketika *resource* yang ada saat ini tidak bisa memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan.

Penelitian dalam tugas akhir ini mencoba untuk memahami sudut pandang dari pengusaha pemasok listrik agar dapat merencanakan ekspansi *resource* (gardu induk) dengan baik dalam hal mengatasi kebutuhan energi listrik yang semakin tumbuh di sisi pelanggan. Perencanaan yang matang dapat dilakukan jika diketahui pertumbuhan kebutuhan energi listrik kedepannya.

Model dapat dibagi menjadi 2 bagian secara garis besar, yaitu model pasokan energi listrik atau *supply* pada seluruh sektor, termasuk sektor rumah tangga di Jawa Timur dan model permintaan kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga di Jawa Timur atau *demand*.

Tabel 4.6 menunjukkan variabel-variabel signifikan apa saja yang berpengaruh pada *supply* listrik dari sektor rumah tangga di Jawa Timur. Distribusi daya gardu induk dipengaruhi oleh daya maksimal distribusi yang didapat dari data olahan yang diolah setelah menghitung data mentah gardu induk PLN Distribusi dan P3B Jawa Timur. Data jumlah daya maksimal terdistribusi didapatkan setelah menjumlahkan seluruh daya yang dapat didistribusikan oleh penyulang-penyulang yang terdapat pada gardu induk pada data gardu induk di Jawa Timur. Penyulang adalah jaringan listrik PLN yang terdapat pada gardu induk dengan tegangan kecil sekitar 20 KV yang berfungsi secara langsung menyalurkan pasokan energi listrik ke jaringan listrik pelanggan dari gardu induk. Dikarenakan jumlah penyulang yang sangat banyak sehingga

tidak perlu dimasukkan ke dalam model. Pada model *supply* total Jawa Timur dicari total distribusi dari semua APJ sehingga tidak diperlukan pemetaan gardu induk mendistribusikan *supply* energi listrik ke APJ mana saja.

**Tabel 4.6 Variabel Signifikan *Supply* Rumah Tangga**

Variabel Signifikan	Parameter
Distribusi daya gardu induk ke APJ	Jumlah daya maksimal terdistribusi ke APJ.
	Daya maksimal distribusi.
Total daya tampung gardu induk	Distribusi daya gardu induk ke APJ 1.
	Distribusi daya gardu induk ke APJ 2.
	Distribusi daya gardu induk ke APJ X.
<i>Supply</i> APJ	Distribusi daya gardu induk 1 ke APJ.
	Distribusi daya gardu induk 2 ke APJ.
	Distribusi daya gardu induk 2 ke APJ.

Variabel-variabel signifikan pada *demand* listrik sektor rumah tangga di Jawa Timur dipaparkan dalam Tabel 4.7. Dikarenakan naik turunnya pertumbuhan PDRB maka pendekatan fungsi untuk mencari grafik nilai pertumbuhan PDRB adalah grafik sinus, hal tersebut mengakibatkan faktor yang mempengaruhi grafik sinus tersebut adalah variabel waktu dan menggunakan data pertumbuhan dari masa lalu

untuk meramal fungsi grafik sinus yang mendekati nilai dari data-data di masa lalu.

Pertumbuhan *demand* per tarif sektor rumah tangga dapat dicari dengan menghubungkan pertumbuhan data-data pertumbuhan PDRB masing-masing rumah tangga terkait yang telah diramal sebelumnya dengan pendekatan fungsi grafik sinus. Pertumbuhan *demand* per tarif sektor rumah tangga dicari dengan metode ekonometri dengan pendekatan regresi yang memperhatikan aspek ekonomi yaitu PDRB rumah tangga itu sendiri, aspek statistik berupa penyajian data di masa lalu pada tabel untuk mencari pendekatan fungsi yang sesuai, dan aspek matematika dengan pendekatan regresi untuk mencari persamaan dari pertumbuhan *demand* sektor rumah tangga. Metode ekonometri digunakan setelah dilakukan pemetaan PDRB rumah tangga terhadap tarif.

Total *demand* rumah tangga didapatkan dengan menjumlahkan *demand* seluruh tarif sektor rumah tangga di Jawa Timur mulai dari R-1 A, R-1 B, R-1 C, R-1 D, R-2, hingga R-3. Sedangkan total *demand* seluruh sektor baik dalam APJ atau seluruh Jawa Timur didapatkan dari penjumlahan *demand* keempat sektor, yaitu rumah tangga, industri, bisnis, dan sosial publik.

Variabel-variabel yang didapatkan dari perhitungan untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik di masa depan dan perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik dijelaskan dalam Tabel 4.8.

Pada tabel di atas utilisasi penggunaan listrik didapatkan dengan membandingkan penggunaan energi listrik dalam memenuhi kebutuhan pelanggan terhadap daya

**Tabel 4.7 Variabel Signifikan *Demand* Rumah Tangga**

Variabel Signifikan	Parameter
Pertumbuhan PDRB jenis rumah tangga	Waktu
	Data Masa Lalu
Pertumbuhan Penduduk (Rumah Tangga di Jawa Timur	Waktu
	Data Rumah Tangga
Pertumbuhan <i>Demand</i> per Tarif	Pertumbuhan PDRB jenis rumah tangga
	Persamaan Ekonometri
Total <i>Demand</i> Rumah Tangga	<i>Demand</i> Tarif R-1
	<i>Demand</i> Tarif R-2
	<i>Demand</i> Tarif R-3
Total <i>Demand</i> APJ Seluruh Sektor	Total <i>Demand</i> Rumah Tangga
	Total <i>Demand</i> Industri
	Total <i>Demand</i> Bisnis
	Total <i>Demand</i> Sosial dan Publik

tersambung yang merupakan penggunaan maksimal yang dapat dipakai oleh pelanggan. Jika utilisasi penggunaan listrik diketahui maka rata-rata jam nyala total pelanggan dalam penggunaan energi listrik dapat diketahui juga. Kekurangan daya listrik juga dapat diketahui ketika *demand* energi listrik yang terus naik tumbuh melebihi *supply* energi listrik

sedangkan nilai maksimal dari *supply* energi listrik tetap dengan *resource* sekarang yang ada.

**Tabel 4.8 Variabel Signifikan Peramalan**

Variabel Signifikan	Parameter
Pertumbuhan PDRB jenis rumah tangga	Daya tersambung tarif R-1
	Daya tersambung tarif R-2
	Daya tersambung tarif R-3
Pertumbuhan Penduduk (Rumah Tangga)	Daya tersambung tarif R-1
	Daya tersambung tarif R-2
	Daya tersambung tarif R-3
Utilisasi Penggunaan Listrik	Daya tersambung RT
	<i>Demand</i> sektor RT
Kekurangan Daya Listrik (dalam %)	<i>Supply</i> total
	<i>Demand</i> total
Ekspansi Daya Listrik	Kekurangan Daya Listrik
	<i>Supply</i> total

Sehingga nilai berapa total VA yang dibutuhkan dalam ekspansi daya listrik dapat diketahui jumlahnya dengan melihat kekurangan daya listrik terhadap *supply* total di Jawa Timur yang ada sekarang ini. Hal tersebut bertujuan untuk perencanaan ekspansi yang baik. Ekspansi hanya dilakukan ketika terjadi kekurangan daya listrik di masa depan atau pada *scenario model*.

#### 4.4. Pemodelan Diagram Sebab Akibat (Causal Loop Diagram)

*Causal Loop Diagram* (CLD) merupakan suatu mata rantai yang menggambarkan identifikasi masalah dalam pendekatan sistem yang menghubungkan berbagai kepentingan dengan permasalahan yang dihadapi. Persoalan yang dapat dengan tepat dimodelkan menggunakan metodologi *System Dynamics* adalah masalah yang mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu) dan struktur fenomenanya mengandung paling sedikit satu struktur umpan-balik (*feedback structure*) .

Suatu struktur umpan-balik harus dibentuk karena adanya hubungan kausal (sebab-akibat). Dengan kata lain, suatu struktur umpan-balik adalah suatu causal loop (lingkar sebab-akibat). Struktur umpan-balik ini merupakan blok pembentuk model yang diungkapkan melalui lingkaran-lingkaran tertutup. Lingkaran umpan-balik (*feedback loop*) tersebut menyatakan hubungan sebab-akibat variabel-variabel yang melingkar, bukan menyatakan hubungan karena adanya korelasi-korelasi statistik.

Ada 2 macam hubungan kausal, yaitu:

1. Hubungan kausal positif; dan
2. Hubungan kausal negatif.

Ada 2 macam lingkaran umpan-balik, yaitu:

1. Lingkaran umpan-balik positif (*growth*); dan
2. Lingkaran umpan-balik negatif (*goal seeking*).

Dalam merepresentasikan aktivitas dalam suatu lingkaran umpan-balik, digunakan dua jenis variabel yang disebut sebagai *level* dan *rate*. *Level* menyatakan kondisi sistem pada

setiap saat. Dalam kerekayasaan (*engineering*) *level* sistem lebih dikenal sebagai *state variable system*. *Level* merupakan akumulasi di dalam sistem. Persamaan suatu *variable rate* merupakan suatu struktur kebijakan yang menjelaskan mengapa dan bagaimana suatu keputusan dibuat berdasarkan kepada informasi yang tersedia di dalam sistem. *Rate* inilah satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi *level*.

Hubungan antara variabel permintaan listrik dan PDRB dari industri harus ditemukan untuk perancangan permintaan listrik CLD. Pasokan listrik CLD menggunakan data distribusi gardu induk dari PT. PLN. Gambar 4.9 menunjukkan *causal loop* pasokan listrik dari gardu induk yang direpresentasikan oleh jumlah daya pada GI hingga didistribusikan ke konsumen yang direprestasikan oleh pasokan APJ.

Secara garis besar hubungan sebab akibat antar variabel yang mendukung sistem kelistrikan di Jawa Timur dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu hubungan sebab akibat bagian *supply*, hubungan sebab akibat bagian *demand*, dan hubungan sebab akibat penambahan daya atau gardu induk baru [12].

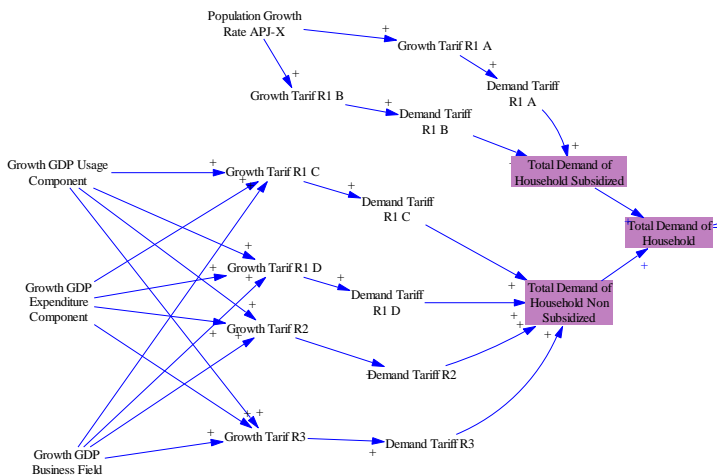
CLD kebutuhan listrik ditunjukkan pada Gambar 4.10 menunjukkan model konseptual dari pemetaan yang dilakukan sebelumnya. Gambar 4.11 menunjukkan relasi dari *supply* dan *demand*, bagaimana kita bisa mendapatkan pemanfaatan daya yang digunakan dan perluasan daya yang dibutuhkan ketika pasokan tidak bisa lagi memenuhi permintaan di Jawa Timur.

#### **4.5. Pemodelan *Stock and Flow Diagram* (SFD)**

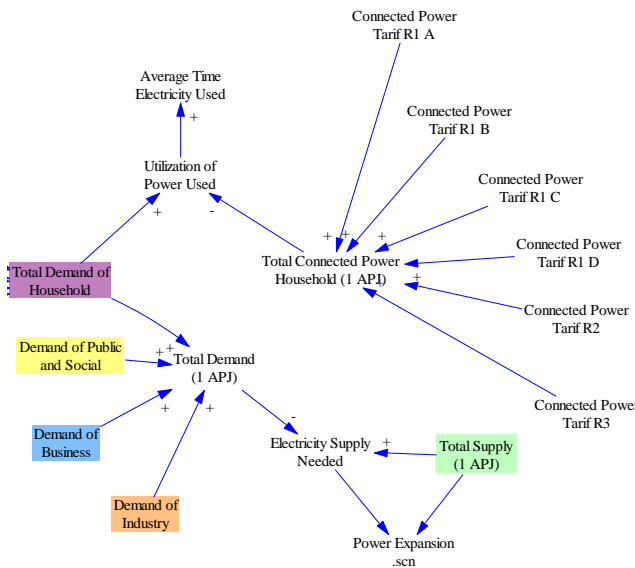
Pemodelan simulasi dinamis yang utama untuk peramalan kebutuhan listrik di masa depan dibuat dalam







**Gambar 4.10. Electricity Demand Mapping CId**



**Gambar 4.11. Electricity Demand and Supply Relationship**

#### 4.5.1. Model *Supply*

Model *supply* menjelaskan nilai total dari pasokan dari suatu APJ yang didapatkan dari seluruh distribusi dari gardu-gardu induk yang memasok APJ tersebut. Variabel *supply* di dalam model direpresentasikan sebagai *auxiliary supply* APJ yang dipengaruhi oleh distribusi gardu induk terhadap APJ terkait yang direpresentasikan sebagai *auxiliary power distribution* gardu induk (GI) ke APJ. Nilai dari total kapasitas daya maksimal GI merupakan jumlah dari total seluruh distribusi daya ke seluruh APJ yang didistribusikan oleh GI tersebut.

$$Supply = \sum_{i=1}^n GI_i \quad (4.5)$$

Persamaan 4.5 menjelaskan pencarian total *supply* dengan mencari jumlah seluruh distribusi gardu-gardu induk yang disimbolkan dengan GI pada sejumlah n gardu yang mendistribusikan pada APJ tersebut.

$$PowerGI = \sum_{i=1}^n GI_{toAPJ_i} \quad (4.6)$$

Persamaan 4.6 bagaimana ekuasi untuk total kapasitas gardu induk yang direpresentasikan sebagai *PowerGI* adalah total jumlah seluruh distribusi gardu induk tersebut ke seluruh APJ yang dipasok sejumlah n APJ oleh gardu induk tersebut yang direpresentasikan sebagai *GI<sub>toAPJ</sub>* dalam Persamaan 4.6.

Variabel *Supply APJ* ditandai dengan warna hijau muda, sedangkan variabel gardu induk ditandai dengan warna biru muda agar memudahkan untuk membedakan antar variabel dalam model.

Gambar 4.12 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ BJB. APJ dipasok oleh 6 gardu induk. Terdapat 2

gardu induk yang juga memasok APJ lain yaitu APJ GSK, dua gardu induk tersebut adalah Gardu Induk Mliwang dan Gardu Induk Lamongan. Gambar 4.13 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ MJK. Sebenarnya ada 12 gardu induk yang memasok listrik untuk APJ MJK tetapi pada gambar 4.7 hanya menampilkan 5 gardu induk dikarenakan gambar tidak muat jika ditampilkan seluruhnya. Seluruh gardu induk yang memasok listrik APJ MJK tidak memasok APJ MJK kecuali Gardu Induk Tarik yang juga memasok APJ SDA atau daerah Sidoarjo.

Gambar 4.14 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* APJ SBU. Sebenarnya ada 11 gardu induk yang memasok listrik untuk APJ SBU tetapi pada gambar 4.8 hanya menampilkan 4 gardu induk dikarenakan gambar tidak muat jika ditampilkan seluruhnya. Ada 4 gardu induk yang memasok APJ lain selain APJ SBU, yaitu Gardu Induk Alta Prima yang juga memasok APJ SBS, APJ SBB, dan APJ GSK selain APJ SBU serta Gardu Induk Ngagel, Tandes, dan Simpang yang juga memasok untuk APJ SBS.

Gambar 4.15 merupakan diagram *stock and flow* dari *supply* seluruh Jawa Timur. *Supply* dari Jawa Timur merupakan akumulasi total dari seluruh *supply* dari semua 16 APJ yang terdapat di Jawa Timur.

**Tabel 4.10 Auxiliary Total Supply**

Nama	<i>Supply</i> APJ	Satuan	VA
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Distribusi seluruh gardu induk ke APJ
Ekuasi			
Distribusi GI-1 ke APJ + ... + distribusi GI-n ke APJ			

Tabel 4.10 menunjukkan isi dari *auxiliary supply* baik pada APJ maupun total Jawa Timur. Ekuasi pada Tabel 4.10 didapatkan dengan menerapkan Persamaan 4.5.

Tabel 4.11 menunjukkan isi dari *auxiliary* dari total daya maksimal gardu induk pada APJ maupun total di Jawa Timur. Ekuasi pada Tabel 4.11 didapatkan dengan menerapkan Persamaan 4.6.

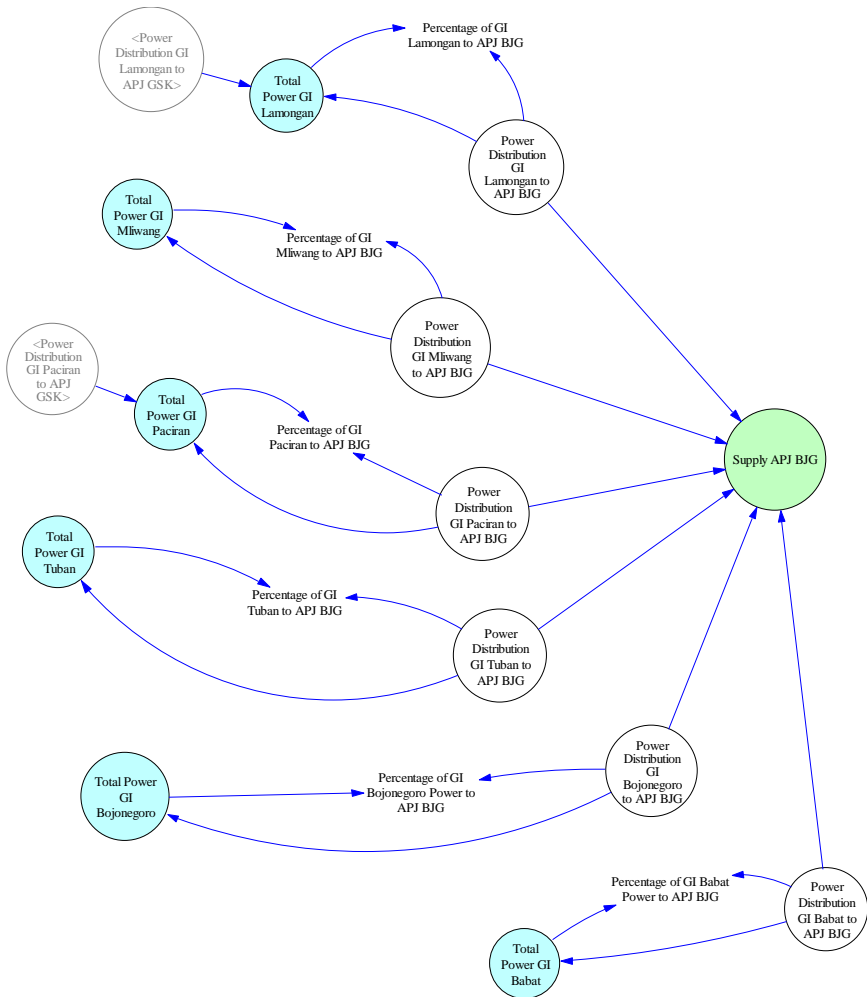
**Tabel 4.11 *Auxiliary* Total Daya Gardu Induk**

Nama	Total daya gardu induk	Satuan	VA
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Distribusi seluruh gardu induk ke APJ
Ekuasi			
$\text{Distribusi ke APJ}_{-1} + \dots + \text{distribusi GI ke APJ}_{-n}$			

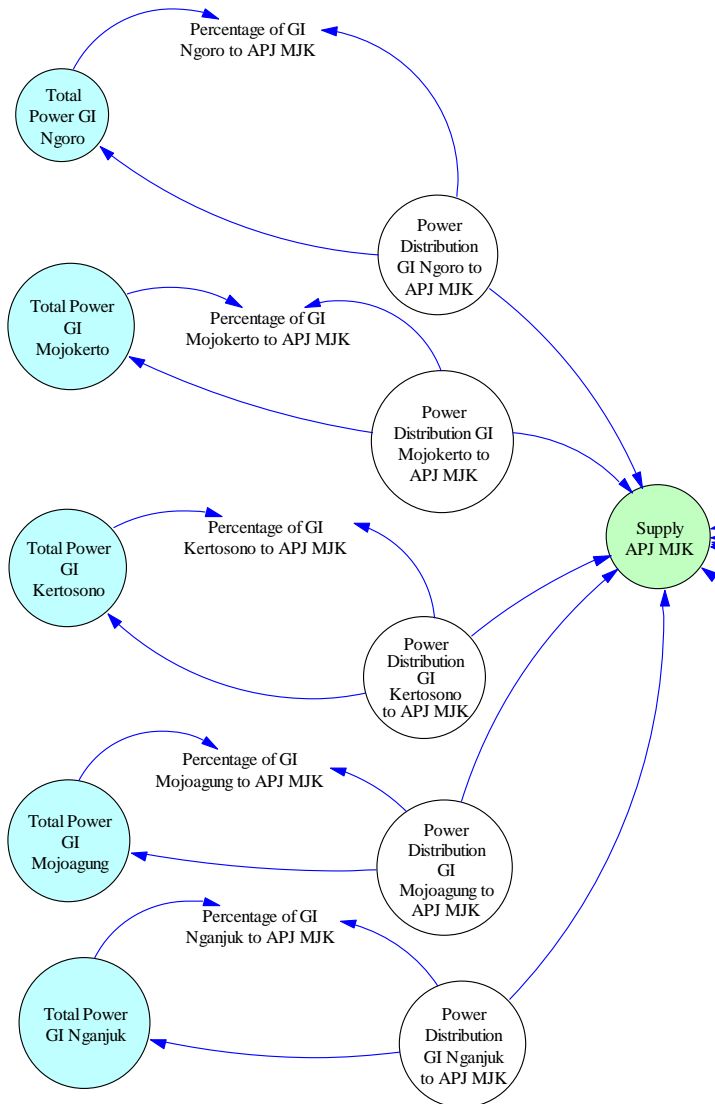
#### **4.5.1. Model Faktor-faktor Sektor Rumah Tangga**

Model PDRB rumah tangga menjelaskan model PDRB dan penduduk rumah tangga juga pertumbuhannya mempengaruhi *demand* rumah tangga di Jawa Timur. Sebelum membuat diagram *stock and flow* dari PDRB rumah tangga, cari terlebih dahulu persamaan grafik dari pertumbuhan PDRB dan pertumbuhan penduduk. Pada subbab sebelumnya telah dijelaskan dan diketahui masing-masing persamaan grafik sinus untuk setiap faktor.

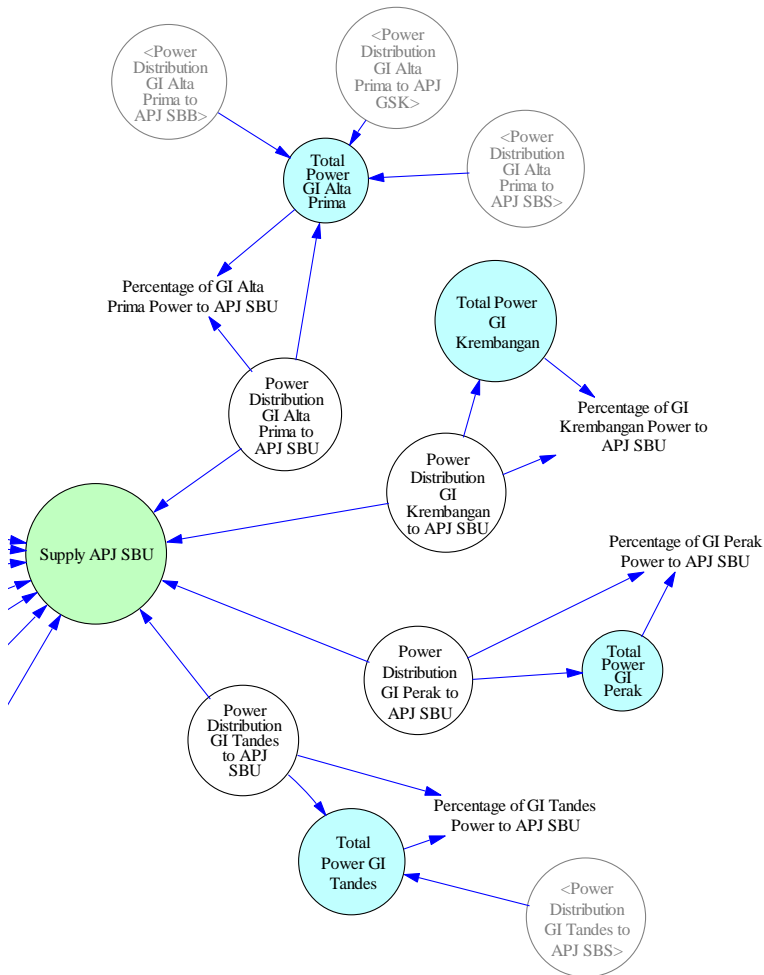
Pertumbuhan PDRB atau GDP dalam bahasa inggris didapatkan dengan menggunakan pendekatan penjumlahan tiga grafik sinus seperti pada persamaan yang telah dibahas pada subbab sebelumnya. Persamaan hasil dari matlab tersebut



**Gambar 4.12. Stock and Flow Diagram of Supply APJ BJJ**



**Gambar 4.13 Stock and Flow Diagram of Supply APJ MJK**

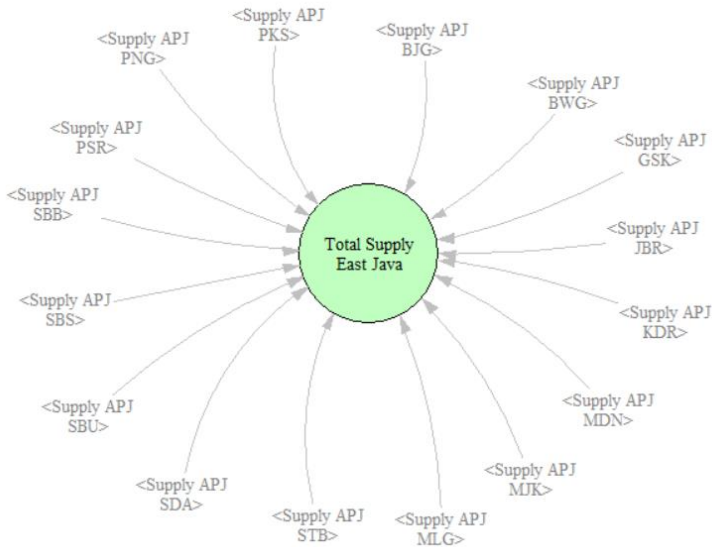


**Gambar 4.14 Stock and Flow Diagram of Supply APJ SBU**

dilengkapi dengan nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  merupakan koefisien yang didapatkan dengan akurasi lebih dari 95%. Subbab *causal loop diagram* telah menjelaskan bagaimana pemetaan jenis-jenis rumah tangga terhadap tarif di PLN. Terdapat tiga jenis PDRB



rumah tangga yang berbeda sehingga terdapat pula 3 ekuasi dengan koefisien yang berbeda pula.



**Gambar 4.15 Total Supply East Java**

Gambar 4.16 merupakan contoh *stock and flow diagram* dari PDRB rumah tangga dan populasi rumah tangga terhadap pertumbuhan tiap tarif Jawa Timur. Untuk tarif yang bersubsidi (R1 s/d 450 VA dan R1 900 VA) dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi rumah tangga. Sedangkan untuk tarif yang tidak bersubsidi dipengaruhi oleh tiga jenis PDRB yaitu PDRB komponen lapangan usaha, PDRB komponen pengeluaran, dan PDRB komponen penggunaan. *Level* ketiga PDRB pada gambar merupakan akumulasi dari pertumbuhan tiap PDRB yang direpresentasikan oleh *rate in*. *Rate in* merupakan penambahan PDRB tiap bulan yang dipengaruhi

berapa persen pertumbuhan dari PDRB tersebut yang kemudian direpresentasikan sebagai *growth*.

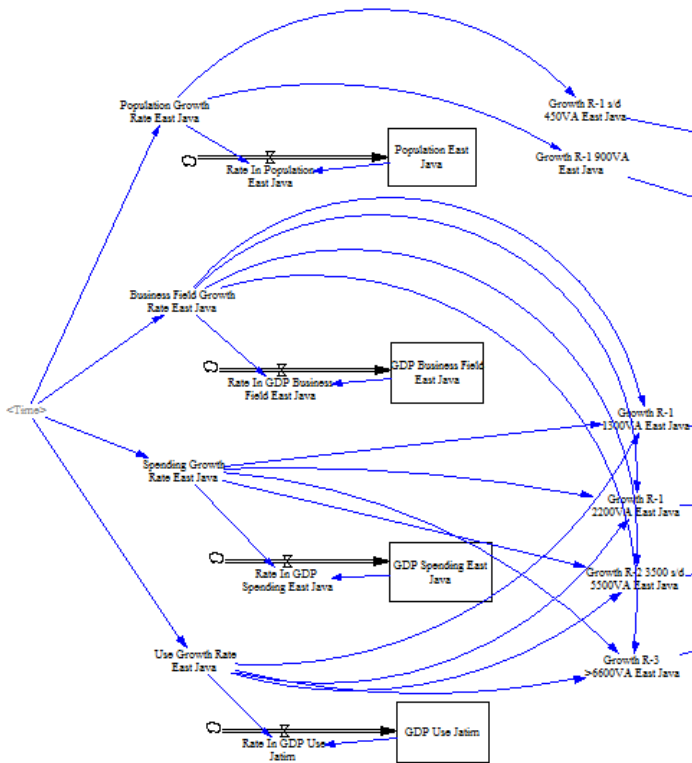
Tabel 4.12 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB rumah tangga komponen lapangan usaha pada model. Tabel 4.13 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB rumah tangga komponen penggunaan pada model. Tabel 4.14 menjelaskan ekuasi dari variabel PDRB rumah tangga komponen pengeluaran pada model. Seperti pada persamaan pada subbab sebelumnya, ketiga variabel PDRB tersebut mempengaruhi variabel tarif tidak bersubsidi pada model.

Ketiga variabel PDRB itu nanti akan dipakai dalam metode ekonometri untuk mencari keterkaitannya dengan variabel tiap tarif tidak bersubsidi pada model. Pendekatan yang dipakai dalam metode ekonometri adalah regresi berganda, yaitu regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel yang mempengaruhi suatu variabel.

Tarif bersubsidi dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi rumah tangga. Pada Tabel 4.15 dijelaskan ekuasi dari variabel populasi rumah tangga tersebut.

**Tabel 4.12 Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga  
Komponen Lapangan Usaha**

Nama	Pertumbuhan Jasa Perorangan dan RT (Komponen Lapangan Usaha)	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,09606 \times \text{SIN}(0,00697 \times \text{Time} + 0,2977) +$ $0,05237 \times \text{SIN}(0,4442 \times \text{Time} + 4,459) +$ $0,04495 \times \text{SIN}(0,6757 \times \text{Time} + 1,214)$			



**Gambar 4.16 Stock and Flow Diagram Pertumbuhan PDRB dan Populasi ke Setiap Tarif**

Persamaan yang didapatkan dari metode ekonometri nantinya akan menjadi ekuasi yang akan digunakan pada variabel pertumbuhan tarif rumah tangga pada model.

#### 4.5.2. Model Demand Rumah Tangga

Model *demand* sektor rumah tangga menjelaskan proyeksi kebutuhan energi listrik di masa depan. Total *demand* sektor rumah tangga didapatkan dari penjumlahan *demand* total tarif bersubsidi terdiri dari R1 s/d 450 VA dan R1 s/d 900 VA dan

**Tabel 4.13. Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga  
Komponen Penggunaan**

Nama	Pertumbuhan Konsumsi Rumah Tangga (Komponen Penggunaan)	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,05114 \times \text{SIN}(0,07254 \times \text{Time} + 0,1656) +$ $0,0199 \times \text{SIN}(0,512 \times \text{Time} + 4,02) +$ $0,01159 \times \text{SIN}(0,1153 \times \text{Time} + 2,833)$			

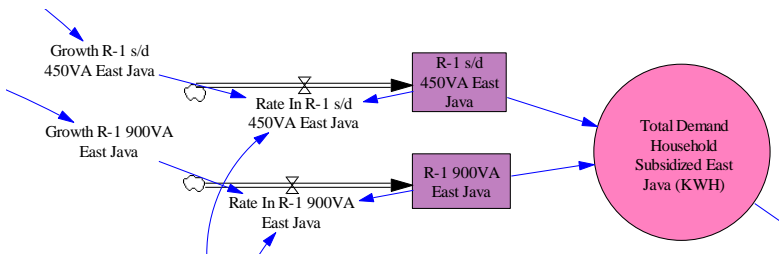
**Tabel 4.14 Variabel Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga  
Komponen Pengeluaran**

Nama	Pertumbuhan PDRB Rumah Tangga (Komponen Pengeluaran)	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,03314 \times \text{SIN}(0,06227 \times \text{Time} + 0,8308) +$ $0,0378 \times \text{SIN}(0,5477 \times \text{Time} + 3,525) +$ $0,01465 \times \text{SIN}(0,6569 \times \text{Time} + 5,36)$			

tarif tidak bersubsidi terdiri dari R1 1300 VA, R1 2200 VA, R2 3500-5500 VA, dan R3 >6600 VA yang direpresentasikan sebagai level pada model, sedangkan total *demand* sendiri direpresentasikan sebagai *auxiliary* pada model.

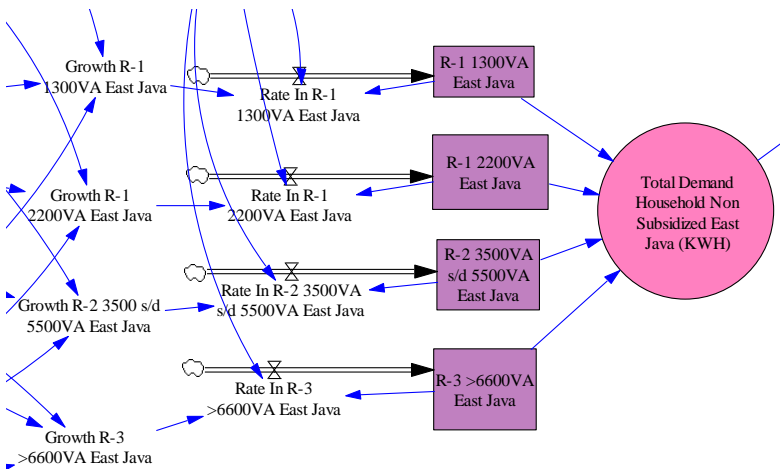
**Tabel 4.15 Variabel Pertumbuhan Populasi Rumah  
Tangga**

Nama	Pertumbuhan populasi rumah tangga	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel normal	Variabel	<i>Time</i>
Ekuasi			
$0,003089 \times \text{SIN}(0,1087 \times \text{Time} - 0,4547) +$ $0,001507 \times \text{SIN}(0,1793 \times \text{Time} + 1,379) +$ $0,0006202 \times \text{SIN}(0,473 \times \text{Time} + 3,907)$			



**Gambar 4.17 Demand Tarif Bersubsidi Sektor Rumah  
Tangga**

Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 menunjukkan diagram *stock and flow* dari *demand* sektor rumah tangga Jawa Timur. Struktur diagram *stock and flow* dari *demand* rumah tangga untuk APJ BJG, MJK, dan SBU hampir sama dengan gambar-gambar tersebut tetapi mempunyai data inisial atau data awal yang berbeda pada level tarif pada model dan ekuasi pertumbuhan tiap tarif yang berbeda-beda.



**Gambar 4.18 Demand Tarif Tidak Bersubsidi Sektor Rumah Tangga**

Metode ekonometri digunakan untuk mencari ekuasi dari pertumbuhan *demand* energi listrik yang direpresentasikan sebagai *growth* dalam model. Hasil dari pendekatan regresi terhadap hubungan antara pertumbuhan populasi rumah tangga terhadap pertumbuhan kebutuhan atau *demand* energi listrik dijelaskan pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17.

Tabel 4.16 menjelaskan ekuasi untuk variabel pertumbuhan tarif R-1 A pada APJ BJG, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh Jawa Timur. Tabel 4.17 menjelaskan ekuasi untuk variabel pertumbuhan tarif R-1 B pada APJ BJG, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh Jawa Timur.

**Tabel 4.16 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 s/d 450 VA**

<b>Area</b>	<b>Ekuasi</b>
Tarif R-1 s/d 450 VA APJ SBU	$(0,00292 - 5,11 * \textit{Population Growth Rate SBU}) * 0,33$
Tarif R-1 s/d 450 APJ BJG	$0,0025 + (0,00043 * \textit{Population Growth Rate BJG})$
Tarif R-1 s/d 450 APJ MJK	$(0,0251 + 8,2 * \textit{Population Growth Rate MJK}) * 0,1$
Tarif R-1 s/d 450 Total Jawa Timur	$(0,0122 + 17,9 * \textit{Population Growth Rate East Java}) * 0,15$

**Tabel 4.17 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 900 VA**

<b>Area</b>	<b>Ekuasi</b>
Tarif R-1 900 VA APJ SBU	$(0,0111 + 15,9 * \textit{Population Growth Rate SBU}) * 0,12$
Tarif R-1 900 VA APJ BJG	$0,0022 + 53,3 * \textit{Population Growth Rate BJG}$
Tarif R-1 900 VA APJ MJK	$(0,00635 + 14,95 * \textit{Population Growth Rate MJK}) * 0,3$
Tarif R-1 900 VA Total Jawa Timur	$(-0,0065 + 44,58 * \textit{Population Growth Rate East Java}) * 0,15$

Variabel yang mempengaruhi ekuasi pertumbuhan *demand* energi listrik tarif R-1 A dan B seperti yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya yaitu pertumbuhan populasi rumah tangga. Ekuasi pada tarif R-1 A dan B tiap area berbeda-beda walaupun variabel yang mempengaruhinya sama. Hasil dari pendekatan regresi terhadap hubungan antara pertumbuhan PDRB rumah tangga terhadap pertumbuhan kebutuhan atau *demand* energi listrik dijelaskan pada Tabel 4.18 hingga Tabel 4.21.

Tabel 4.18 hingga Tabel 4.21 menjelaskan ekuasi untuk variabel pertumbuhan tarif tidak bersubsidi pada APJ BJB, APJ MJK, APJ SBU, dan total seluruh Jawa Timur. Variabel yang mempengaruhi ekuasi pertumbuhan *demand* energi listrik tarif R-1 C, R-1 D, R-2, dan R-3 seperti yang sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya yaitu pertumbuhan PDRB rumah tangga. Ekuasi pada tarif tersebut tiap area berbeda-beda walaupun variabel yang mempengaruhinya sama.

Variabel pertumbuhan tarif yang direpresentasikan *growth* pada model untuk tarif R-1, R-2, dan R-3 menggunakan persamaan ekonometri sesuai tarif masing-masing pada tabel-tabel sebelumnya. Variabel tersebut dijelaskan pada Tabel 4.22.

Variabel jumlah *demand* tarif yang direpresentasikan menjadi level mempunyai nilai awal sesuai data PLN untuk tiap tarif pada tiap APJ atau total Jawa Timur pada Januari 2012. Model variabel jumlah *demand* tarif dijelaskan pada Tabel 4.23.



**Tabel 4.18 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 s/d 1300 VA**

<b>Area</b>	<b>Ekuasi</b>
Tarif R-1 1300 VA VA APJ SBU	$(-0,0146 + 0,489 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 1,89 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,389 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,05$
Tarif R-1 1300 VA APJ BJB	$(0,0212 + 8,83 * \text{Business Field Growth Rate East Java} - 0,81 * \text{Use Growth Rate East Java} + 1,998 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,05$
Tarif R-1 1300 VA APJ MJK	$(-0,0157 + 0,504 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,648 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,853 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,15$
Tarif R-1 1300 VA Total Jawa Timur	$-0,0134 + 0,421 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,206 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,349 * \text{Spending Growth Rate East Java}$

**Tabel 4.19 Persamaan Ekonometri Tarif R-1 2200 VA**

Area	Ekuasi
Tarif R-1 2200 VA APJ SBU	$(-0,0225 + 0,956 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,738 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,996 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,12$
Tarif R-1 2200 VA APJ BJB	$(0,0009 + 0,806 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,355 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,486 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,1$
Tarif R-1 2200 VA APJ MJK	$(-0,0145 + 2,76 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 2,57 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,618 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,05$
Tarif R-1 2200 VA Total Jawa Timur	$-0,0153 + 0,697 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,36 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,24 * \text{Spending Growth Rate East Java}$

**Tabel 4.20 Persamaan Ekonometri Tarif R-2 3500 VA s/d 5500 VA**

<b>Area</b>	<b>Ekuasi</b>
Tarif R-2 3500-5500 VA APJ SBU	$(-0,013 + 0,956 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 1,71 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,364 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,1$
Tarif R-2 3500-5500 VA APJ BJJ	$(-2e-005 + 0,828 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 4,659 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,266 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,1$
Tarif R-2 3500-5500 VA APJ MJK	$(-0,0396 + 0,727 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 3,28 * \text{Use Growth Rate East Java} + 0,709 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,15$
Tarif R-2 3500-5500 VA Total Jawa Timur	$-0,0032 + 0,921 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,1923 * \text{Use Growth Rate East Java} - 0,002 * \text{Spending Growth Rate East Java}$

**Tabel 4.21 Persamaan Ekonometri Tarif R-3 >6600 VA**

<b>Area</b>	<b>Ekuasi</b>
Tarif R-3 6600 VA APJ SBU	$(-0,0033 + 3,065 * \text{Business Field Growth Rate East Java} - 0,79 * \text{Use Growth Rate East Java} + 2,33 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,1$
Tarif R-3 6600 VA APJ BJG	$(-0,00046 * \text{Business Field Growth Rate East Java} - 0,817 * \text{Use Growth Rate East Java} + 4,94 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,1$
Tarif R-3 6600 VA APJ MJK	$(0,0119 + 1,512 * \text{Business Field Growth Rate East Java} - 1,48 * \text{Use Growth Rate East Java} + 1,96 * \text{Spending Growth Rate East Java}) * 0,3$
Tarif R-3 6600 VA Total Jawa Timur	$0,0087 + 0,094 * \text{Business Field Growth Rate East Java} + 0,0124 * \text{Use Growth Rate East Java} - 0,175 * \text{Spending Growth Rate East Java}$

**Tabel 4.22 Tabel Variabel Pertumbuhan *Demand Tariff***

Nama	Pertumbuhan <i>demand tariff</i>	Satuan	per <i>month</i>
Tipe	Variabel Normal	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik
Ekuasi			
Persamaan Ekonometri Pertumbuhan <i>Demand Tariff</i>			

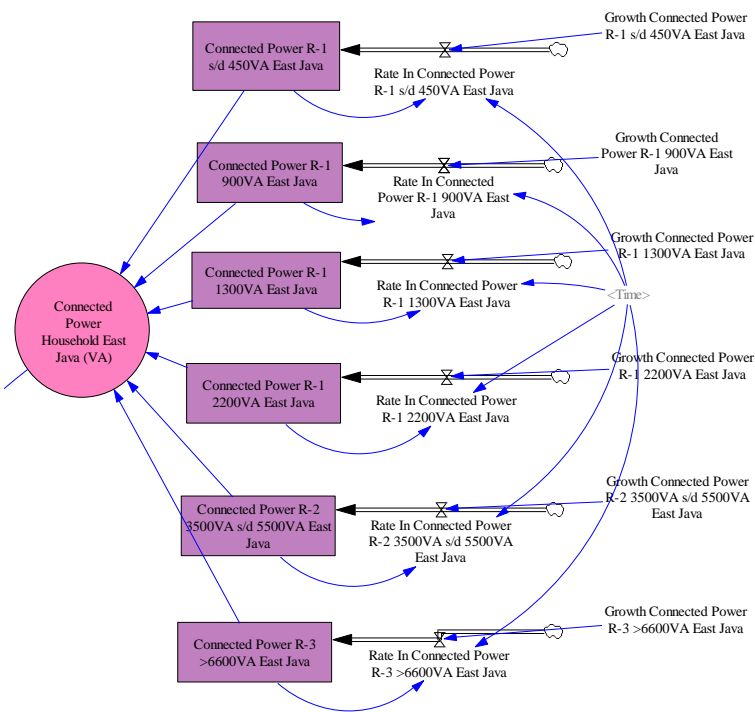
**Tabel 4.23 Variabel *Demand Tarif R-1, R-2, dan R-3*  
Sektor Rumah Tangga**

Nama	Tarif Rumah Tangga R- 1,R-2,dan R-3	Satuan	kWh
Tipe	Level	Variabel	<i>Rate</i> pertumbuhan kebutuhan energi listrik
Nilai Awal			
Data saat Januari 2012			
Ekuasi			
Rate pertumbuhan kebutuhan energi listrik			

Variabel total *demand* yang direpresentasikan sebagai *auxiliary* dihitung dengan menjumlahkan semua *demand* tiap tarif pada tiap APJ atau total di Jawa Timur. Tabel 4.24 menjelaskan variabel total *demand* pada model.

Tabel 4.24 Variabel Total Demand Rumah Tangga

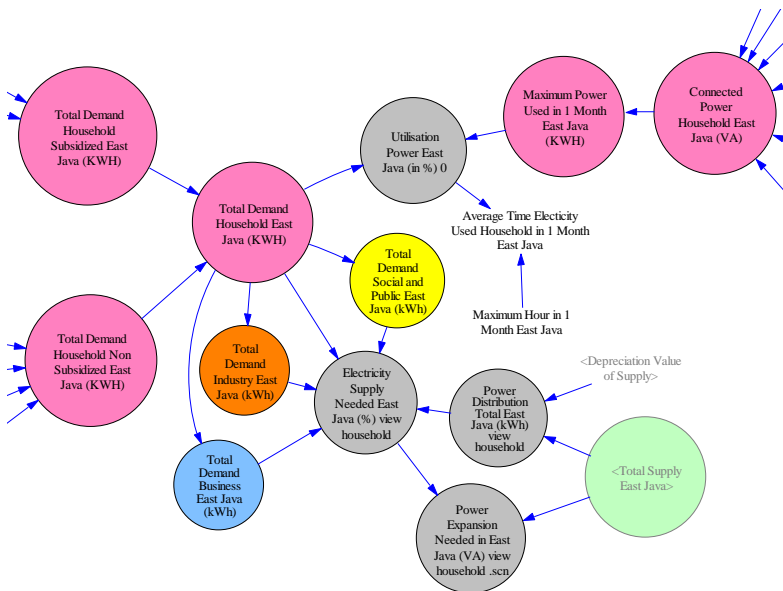
Nama	Total Demand Sektor Rumah Tangga	Satuan	per month
Tipe	Auxiliary	Variabel	Tarif R-1, R-2, dan R-3
Ekuasi			
Tarif R-1 + Tarif R-2 + Tarif R-3			



Gambar 4.19 Daya Tersambung Tarif Sektor Rumah Tangga

Daya tersambung mempunyai ekuasi yang sama dengan mencari *demand* rumah tangga pada tiap sektornya. Gambar 4.19 menunjukkan diagram *stock and flow* model dinamis dari daya tersambung seluruh tarif yang juga tumbuh seperti *demand* sektor rumah tangga. Total daya tersambung digunakan untuk mencari utilisasi penggunaan energi listrik oleh pelanggan. Utilisasi penggunaan energi listrik berskala 0 sampai 100%, semakin besar maka semakin sering daya listrik digunakan, hal ini berarti semakin sering pelanggan menggunakan energi listrik yang didistribusikan oleh pemasok dari gardu induk. Utilisasi penggunaan energi listrik dijelaskan pada Gambar 4.20 dengan membandingkan total *demand* terhadap *maximum power used* dari daya tersambung. *Maximum power used* atau penggunaan listrik maksimal dicari dengan persamaan (4) yang merupakan daya aktif dan dikalikan dengan total jam maksimal penggunaan dalam satu bulan. Dengan kata lain variabel tersebut dicari dengan menkonversikan VA dari daya tersambung terhadap kWh dari daya aktif yang sebenarnya terpakai dalam waktu tertentu atau energi listrik.

Gambar 4.20 menunjukkan diagram *stock and flow* dari perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga di Jawa Timur. Setelah meramalkan kebutuhan energi listrik di masa depan dapat diketahui kapan dan seberapa banyak pasokan tambahan yang dibutuhkan yang direpresentasikan sebagai *auxiliary electricity needed* pada model. *Power expansion* bisa ditentukan ketika *electricity needed* diketahui.



**Gambar 4.20 Proyeksi Pertumbuhan *Demand* dan Ekspansi *Supply* yang Dibutuhkan di Masa Depan**

Ekuasi utilisasi penggunaan energi listrik dijelaskan pada Tabel 4.25, sedangkan Tabel 4.26 menjelaskan ekuasi kekurangan daya listrik yang memasok listrik di Jawa Timur baik tiap APJ atau total di Jawa Timur.

Hampir sama seperti mengonversikan VA ke kWh dari *maximum power used* untuk mencari utilisasi penggunaan, variabel distribusi energi listrik dicari dengan menkonversikan dari *supply* (VA) ke energi maksimal yang dapat didistribusikan dalam 1 bulan (kWh). Nilai  $\cos \phi$  normal pada daya aktif adalah 0,8 sebagai faktor pengali dari VA ke kWh.



**Tabel 4.25 Variabel Utilisasi Penggunaan**

Nama	Utilisasi penggunaan daya listrik	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	Penggunaan daya maksimal dan <i>Demand</i> energi listrik terpakai
Ekuasi			
$\frac{\text{Demand energi listrik terpakai}}{\text{Penggunaan daya maksimal}} \times 100\%$			

**Tabel 4.26 Variabel Kekurangan Pasokan Energi Listrik**

Nama	Kekurangan daya listrik	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<i>Demand</i> di seluruh sektor dan Distribusi Energi Listrik Maksimal
Ekuasi			
$\text{IF}(\text{demand} > \text{distribusi maksimal}) \left( \frac{\text{Demand seluruh sektor} - \text{distribusi energi listrik maksimal}}{\text{distribusi energi listrik maksimal}} \times 100\% \right)$			

Gambar 4.20 menunjukkan hubungan kuantitatif antara pasokan listrik dan permintaan listrik. Pada permintaan sektor lain diberikan persentase permintaan yang didapat dari data PT.PLN Distribusi Jawa Timur.

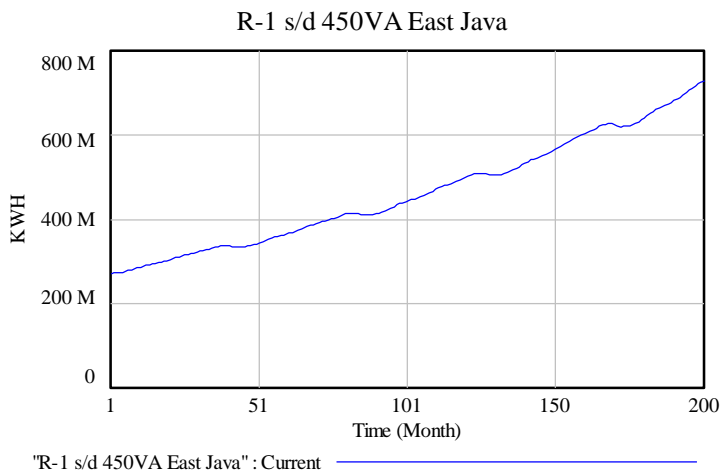
#### 4.6. *Base Model*

*Base model* merupakan model dasar pada pemodelan dinamis. Model inilah yang akan digunakan sebagai acuan skenario nantinya. *Base model* pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian (*supply* dan *demand*) namun masih tetap dalam *file* yang sama, sehingga dapat dikombinasikan dengan baik.

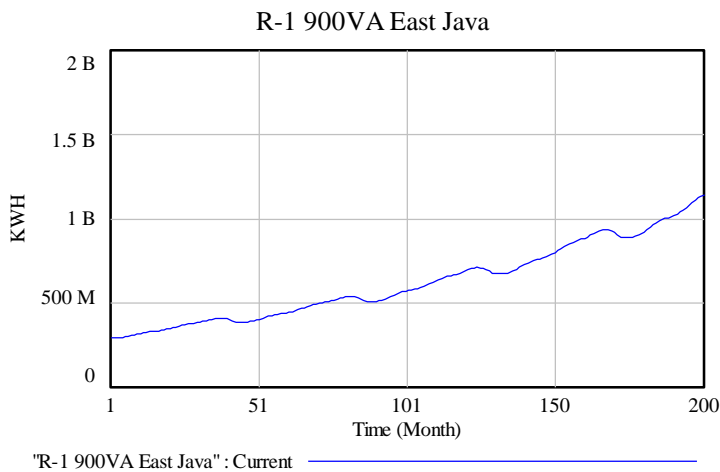
Setelah mengembangkan diagram *stock and flow* maka langkah selanjutnya adalah mensimulasikan model pada kondisi saat ini, pada kasus tugas akhir ini adalah pada *time step* 1 sampai 50 atau dari Januari 2012 sampai Februari 2016.

Dikarenakan terlalu banyak grafik pada tiap variabel pada APJ BJG, APJ MJK, dan APJ SBU tiap tarif sektor rumah tangga maka buku ini hanya akan menampilkan grafik dari simulasi *demand* tarif R-1, R-2, R-3, dan total seluruh *demand* di Jawa Timur saja. Hasil grafik perbandingan hasil simulasi *demand* sektor rumah tangga dan data asli nanti akan ditampilkan seluruhnya pada subbab uji validasi.

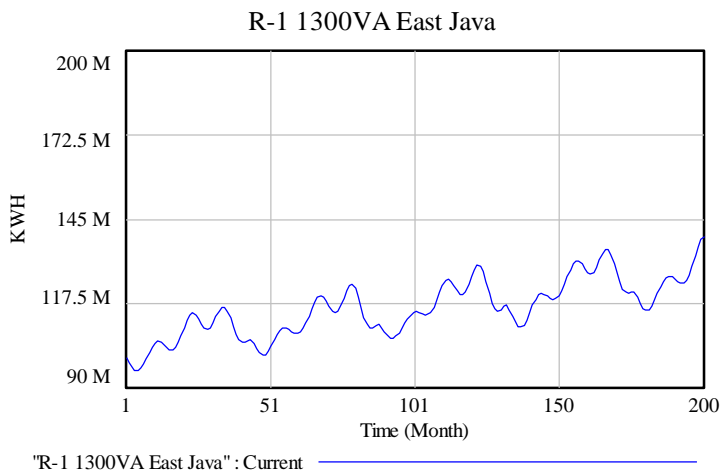
Gambar 4.21 hingga Gambar 4.26 berturut-turut menampilkan hasil grafik simulasi pertumbuhan *demand* energi listrik dari tarif R-1, R-2, dan R-3 di Jawa Timur. Gambar 4.27 menampilkan hasil simulasi total *demand* dengan tarif bersubsidi sektor rumah tangga di Jawa Timur. Gambar 4.28 menampilkan hasil simulasi total *demand* dengan tarif tidak bersubsidi sektor rumah tangga di Jawa Timur. Gambar 4.29 menampilkan hasil simulasi total *demand* sektor rumah tangga di Jawa Timur, yang mana adalah hasil penjumlahan dari total *demand* tarif bersubsidi dan total *demand* tarif tidak bersubsidi.



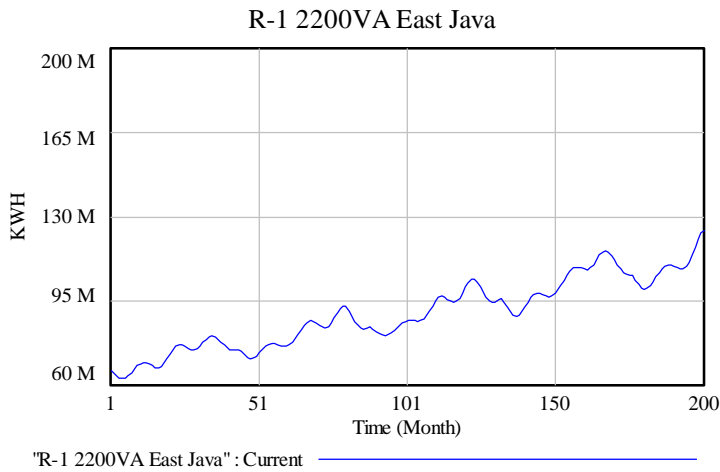
Gambar 4.21 Grafik *Demand Tarif R-1 A Jawa Timur*



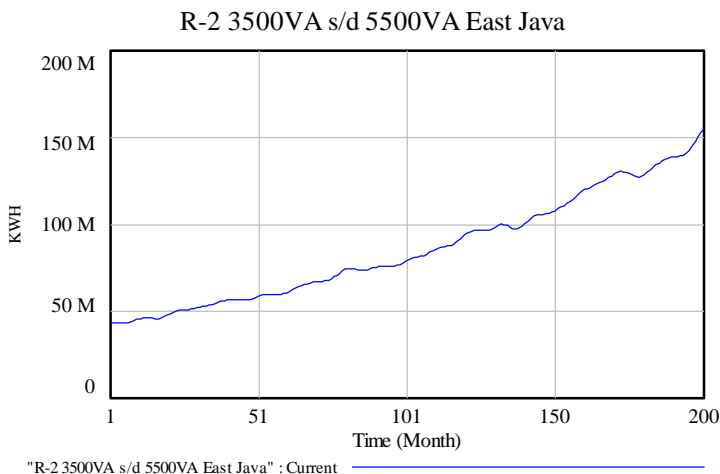
Gambar 4.22 Grafik *Demand Tarif R-1 B Jawa Timur*



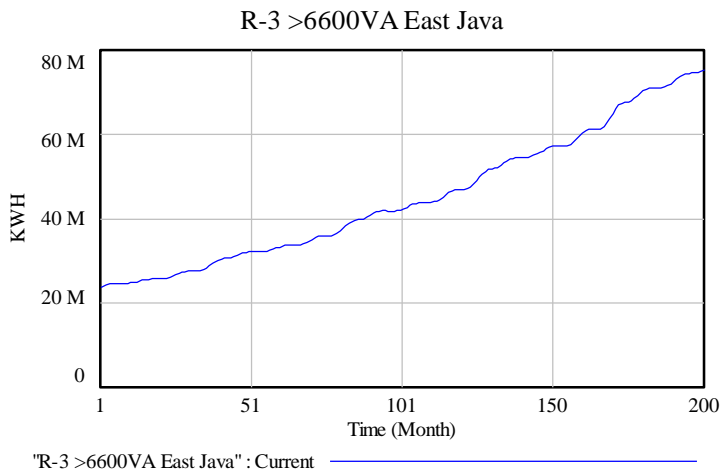
**Gambar 4.23 Grafik *Demand* Tarif R-1 C Jawa Timur**



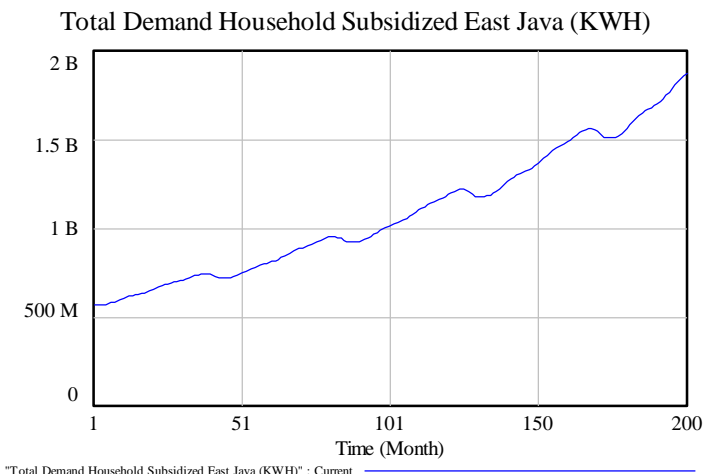
**Gambar 4.24 Grafik *Demand* Tarif R-1 D Jawa Timur**



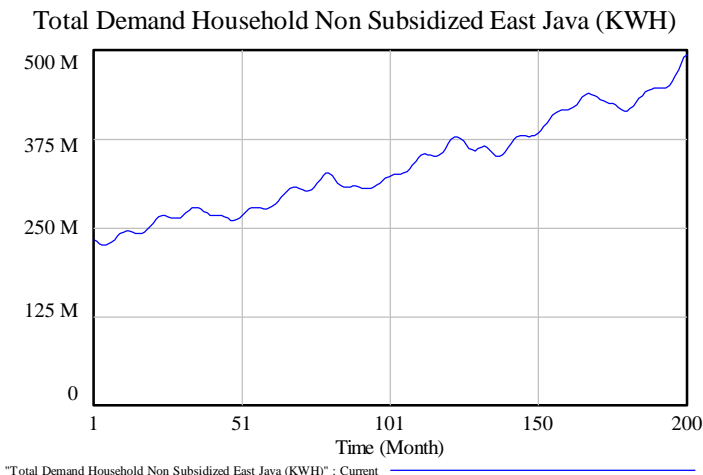
Gambar 4.25 Grafik *Demand* Tarif R-2 Jawa Timur



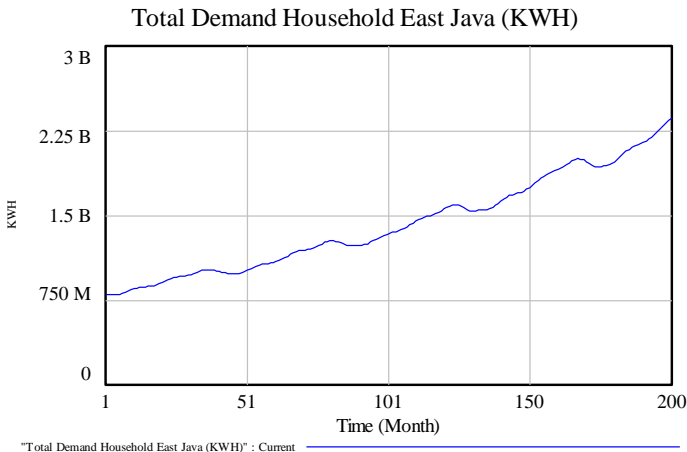
Gambar 4.26 Grafik *Demand* Tarif R-3 Jawa Timur



**Gambar 4.27 Grafik *Demand* Total Sektor Rumah Tangga Bersubsidi Jawa Timur**



**Gambar 4.28 Grafik *Demand* Total Sektor Rumah Tangga Tidak Bersubsidi Jawa Timur**



**Gambar 4.29 Grafik *Demand* Total Sektor Rumah Tangga Jawa Timur**

#### 4.7. Uji Validasi Model

Setelah tahap pembuatan *base model* maka diperlukan validasi untuk mengetahui kelayakan model. Maka pada tahap validasi ini dilakukan dengan perbandingan data hasil model dengan data asli. Perbandingan data tersebut dapat dilakukan dengan menghitung *error mean comparison* atau E1 dan *error variance comparison* atau E2 masing-masing data. Dimana seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bagaimana cara melakukan perhitungan kedua *error* tersebut (lihat Bab 3.2.7).

Nilai dari E1 harus kurang dari sama dengan 5% dan E2 harus kurang dari sama dengan 30%. Hasil simulasi yang diuji adalah nilai dari *demand* sektor rumah tangga mulai dari tarif R-1, R-2, R-3, hingga total *demand* sektor rumah tangga.

*Time step* yang dipakai pada pengujian di *base model* dari nilai 1, yaitu Januari 2012 sampai 50, yaitu Februari 2015. Validasi dilakukan pada tiap tarif dan total *demand* pada tiap APJ dan total di Jawa Timur.

Total jumlah validasi *demand* sektor rumah tangga pada model ada 20 validasi. Subbab berikutnya akan menampilkan validasi tiap tarif untuk APJ BJK, APJ MJK, APJ SBU, dan total tarif pada Jawa Timur.

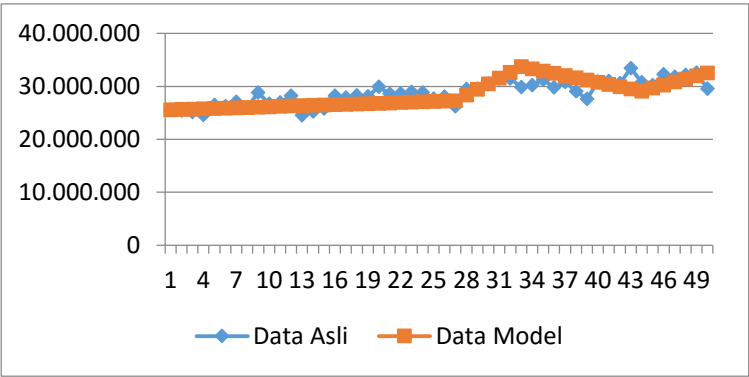
4.7.1. Validasi Tarif R-1 s/d 450 VA (A)

Tabel 4.27 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 A APJ BJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada

Gambar 4.30 Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.27 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ BJK

Tarif R-1 A APJ BJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	28.768.705	28.569.601,08
Standar Deviasi	2.285.852,029	2.596.276,394
Error Mean	0,69%	
Error Variance	13,58%	

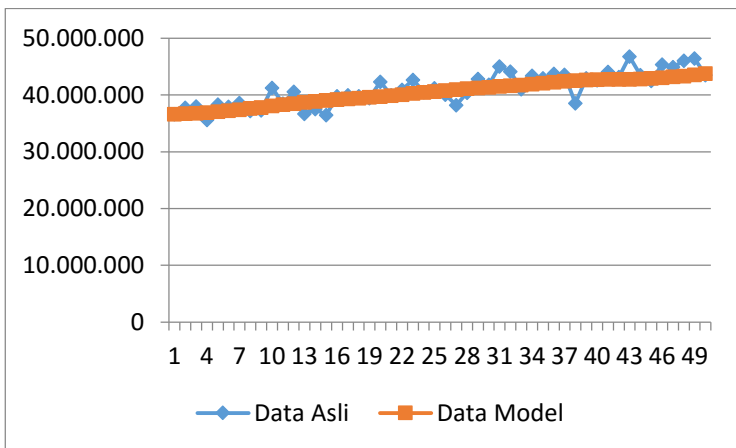


Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ BJK



**Tabel 4.28 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ MJK**

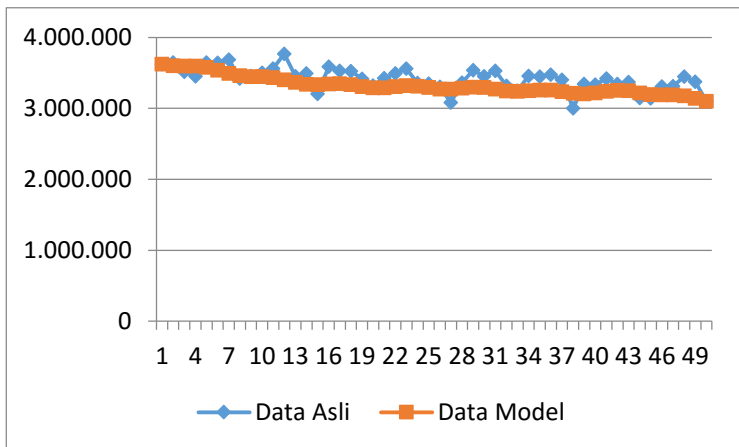
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	41.051.034	40.457.284
Standar Deviasi	2.910.721,579	2.175.970,915
<i>Error Mean</i>	1,45%	
<i>Error Variance</i>	25,24%	

**Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ MJK**

Tabel 4.28 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 A APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.31. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.29 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ SBU**

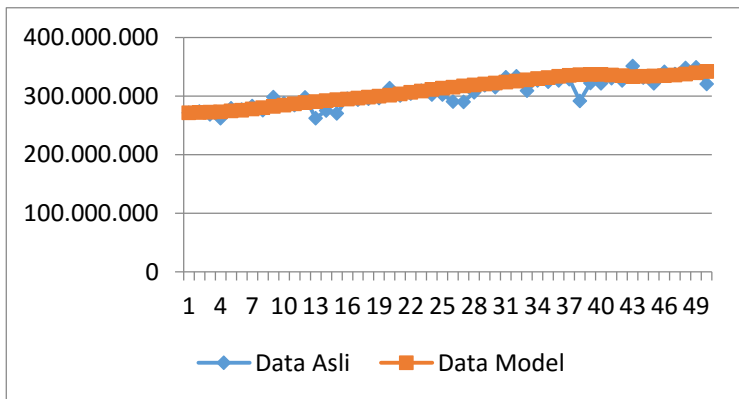
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	3.418.011	3.323.994
Standar Deviasi	159.917,8	127.438,5
<i>Error Mean</i>	2,75%	
<i>Error Variance</i>	20,31%	

**Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A APJ SBU**

Tabel 4.29 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 A APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.32. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.30 Hasil Validasi Tarif R-1 A Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	305.577.052	310.530.582
Standar Deviasi	24.252.567,05	23.230.772,99
<i>Error Mean</i>	1,62%	
<i>Error Variance</i>	4,21%	

**Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Tarif R-1 A Total Jawa Timur**

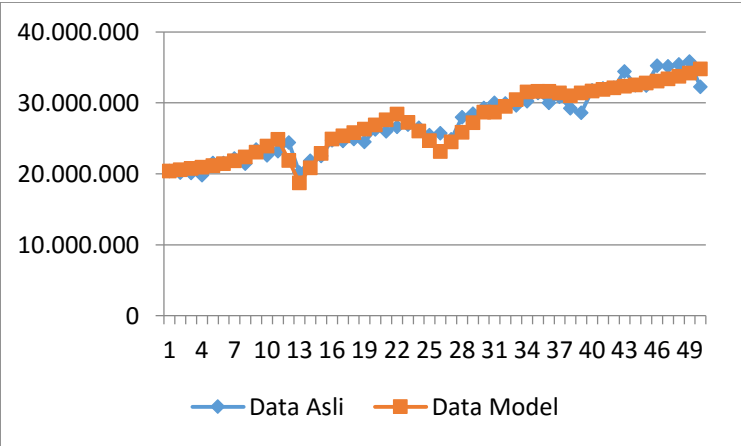
Tabel 4.30 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 A Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.33. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

4.7.2. Validasi Tarif R-1 900 VA (B)

Tabel 4.31 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 B APJ BJB dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.34. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.31 Hasil Validasi Tarif R-1 B APJ BJB

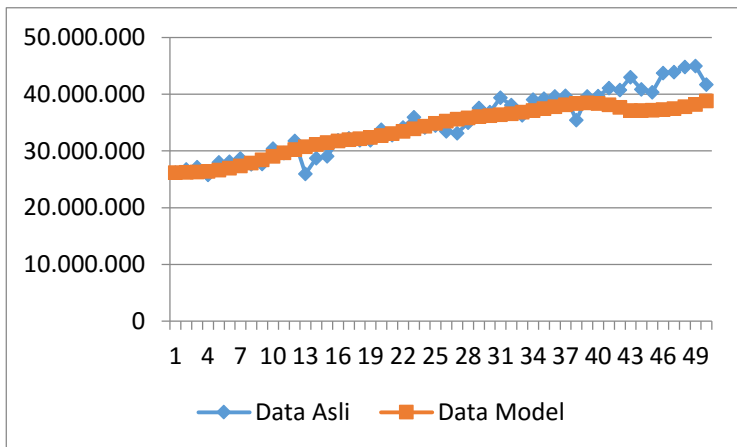
Tarif R-1 A APJ BJB	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	27.156.423	27.177.908
Standar Deviasi	4.685.938,174	4.597.990,557
Error Mean	0,08%	
Error Variance	1,88%	



Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ BJB

**Tabel 4.32 Hasil Validasi Tarif R-1 B APJ MJK**

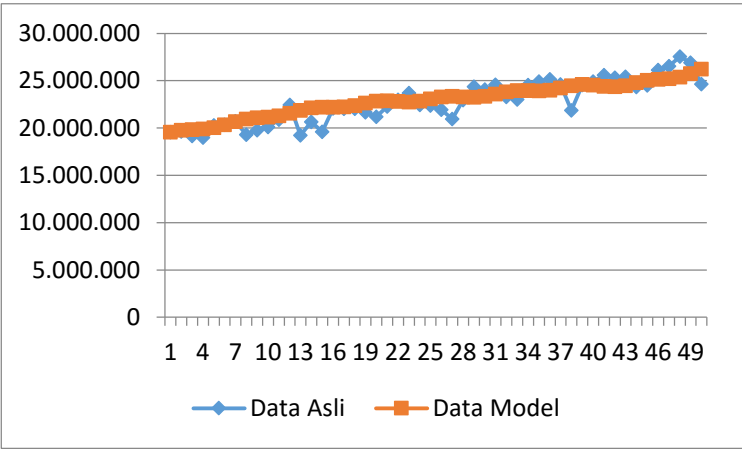
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	34.831.076	33.735.797
Standar Deviasi	5.635.235,371	4.131.926,094
<i>Error Mean</i>	3,14%	
<i>Error Variance</i>	26,68%	

**Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ MJK**

Tabel 4.32 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 B APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.35. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.33 Hasil Validasi Tarif R-1 A APJ SBU

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	22.720.719	22.951.628
Standar Deviasi	2.311.965,85	1.715.389,1
Error Mean	1,02%	
Error Variance	25,80%	

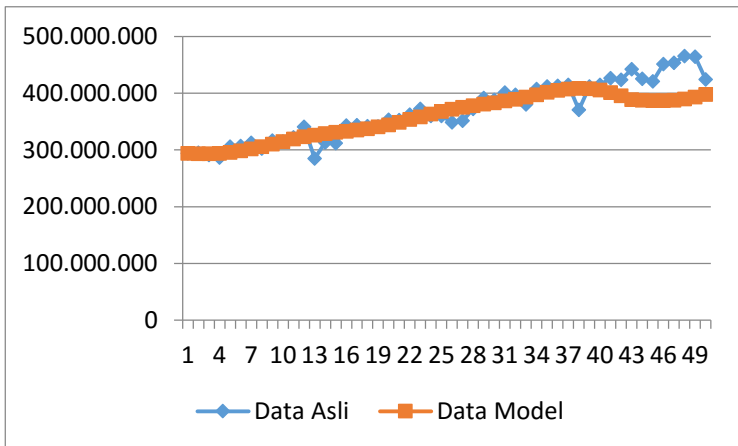


Gambar 4.36 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B APJ SBU

Tabel 4.33 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 B APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.36. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.34 Hasil Validasi Tarif R-1 A Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	368.052.346	358.403.603
Standar Deviasi	52.005.191,69	38.737.228,01
<i>Error Mean</i>	2,62%	
<i>Error Variance</i>	25,51%	

**Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Tarif R-1 B Total Jawa Timur**

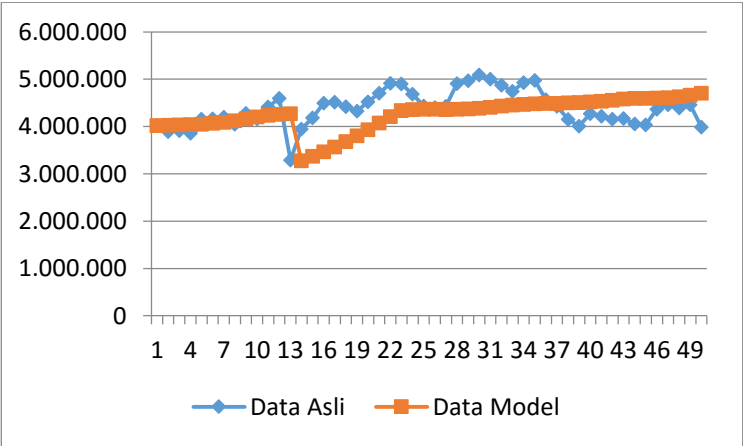
Tabel 4.34 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 B Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.37. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

4.7.3. Validasi Tarif R-1 1300 VA (C)

Tabel 4.35 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 C APJ BJB dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada gambar Gambar 4.38. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.35 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ BJB

Tarif R-1 A APJ BJB	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	4.382.449	4.255.417
Standar Deviasi	370.673,7	341.266,5
Error Mean	2,90%	
Error Variance	7,93%	

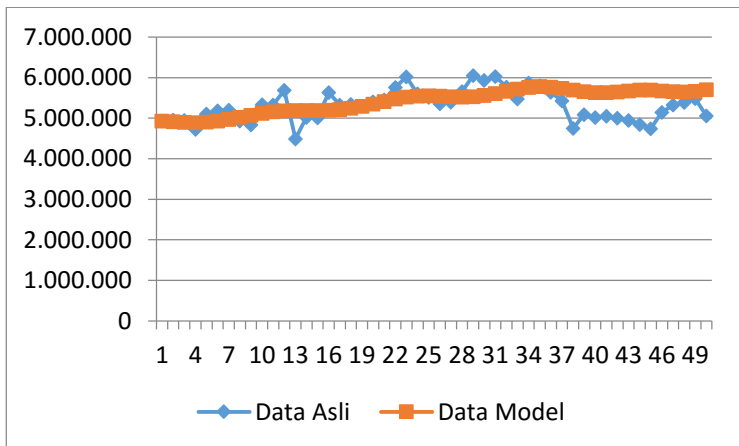


Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ BJB



**Tabel 4.36 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ MJK**

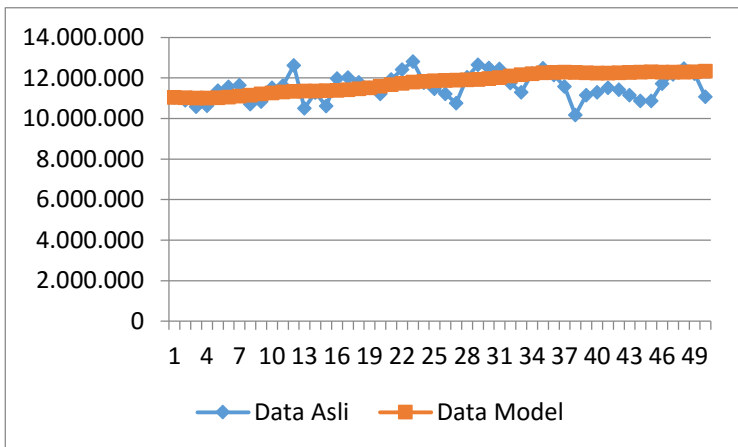
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	5.306.287	5.417.681
Standar Deviasi	378.999,2	289.706,9
<i>Error Mean</i>	2,10%	
<i>Error Variance</i>	23,56%	

**Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ MJK**

Tabel 4.36 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 C APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.39. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.37 Hasil Validasi Tarif R-1 C APJ SBU**

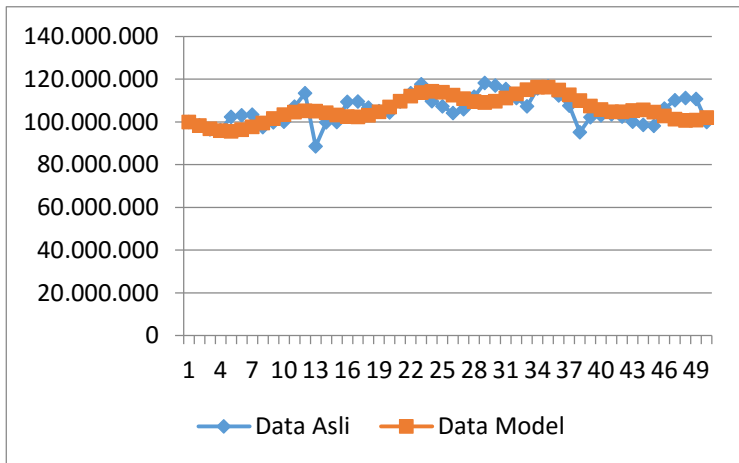
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	11.549.347	11.769.079
Standar Deviasi	651.302,3566	472.022,04
<i>Error Mean</i>	1,90%	
<i>Error Variance</i>	27,53%	

**Gambar 4.40 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C APJ SBU**

Tabel 4.37 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 C APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.40. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.38 Hasil Validasi Tarif R-1 C Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	105.691.989	105.964.386
Standar Deviasi	6.732.811,933	5.785.017,522
<i>Error Mean</i>	0,26%	
<i>Error Variance</i>	14,08%	

**Gambar 4.41 Grafik Perbandingan Tarif R-1 C Total Jawa Timur**

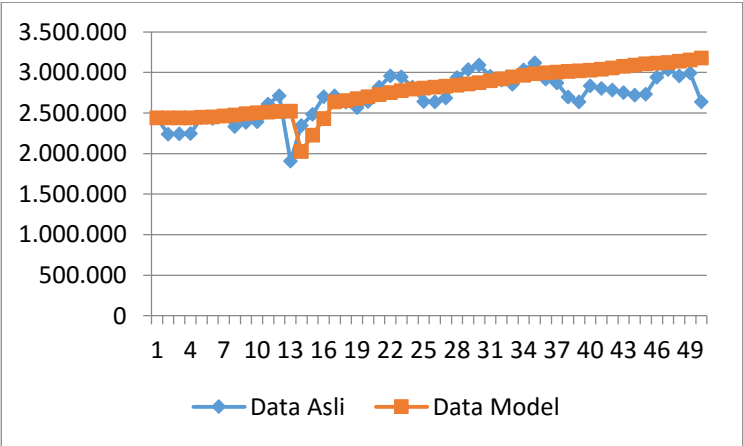
Tabel 4.38 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 C Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.41. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

4.7.4. Validasi Tarif R-1 2200 VA (D)

Tabel 4.39 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 D APJ BJB dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.42. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.39 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ BJB

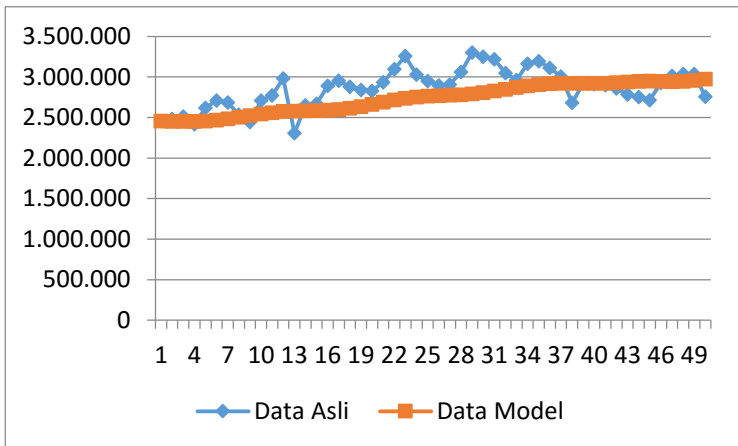
Tarif R-1 A APJ BJB	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	2.694.182	2.769.820
Standar Deviasi	263.436,7	278.587,2181
Error Mean	2,81%	
Error Variance	5,75%	



Gambar 4.42 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ BJB

**Tabel 4.40 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ MJK**

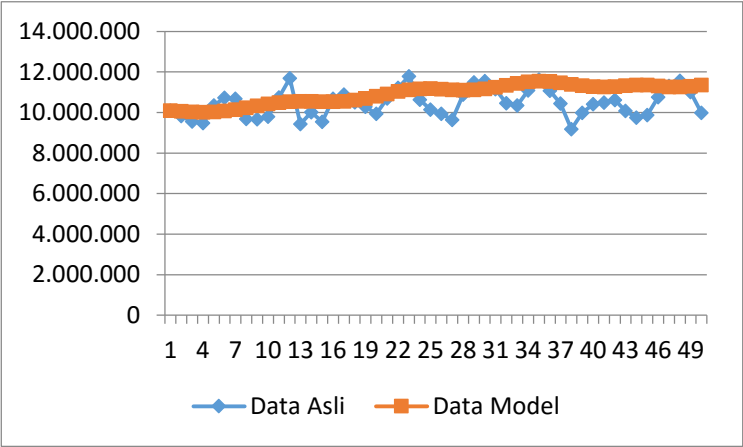
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	2.860.059	2.735.395
Standar Deviasi	236.635,2	179.985,2
<i>Error Mean</i>	4,36%	
<i>Error Variance</i>	23,94%	

**Gambar 4.43 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ MJK**

Tabel 4.40 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 D APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.43. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.41 Hasil Validasi Tarif R-1 D APJ SBU

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	10.453.799	10.910.326
Standar Deviasi	674.772,816	490.769,345
Error Mean	4,37%	
Error Variance	27,27%	

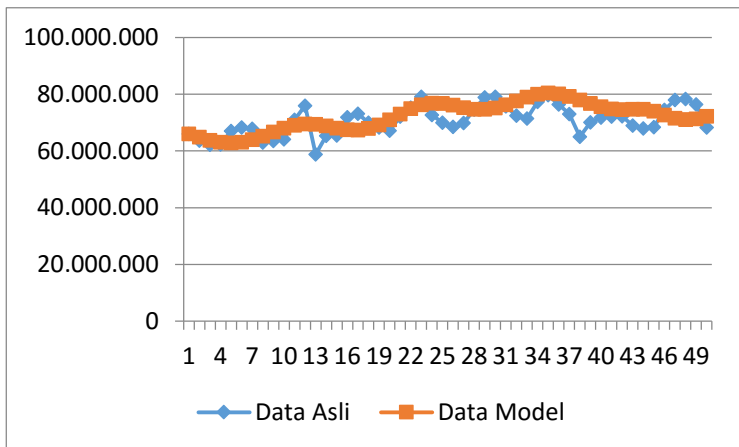


Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D APJ SBU

Tabel 4.41 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 D APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.44. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.42 Hasil Validasi Tarif R-1 D Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	70.652.526	72.074.133
Standar Deviasi	5.171.124,557	5.051.275,587
<i>Error Mean</i>	2,01%	
<i>Error Variance</i>	2,32%	

**Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Tarif R-1 D Total Jawa Timur**

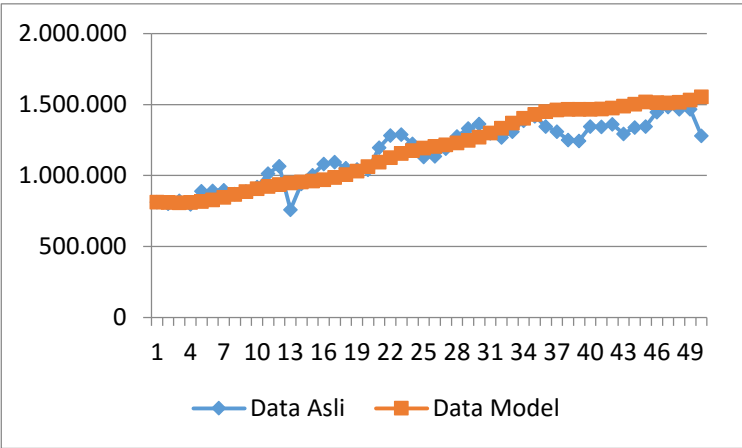
Tabel 4.42 menunjukkan hasil validasi tarif R-1 D Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.45. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

4.7.5. Validasi Tarif R-2 3500-5500 VA

Tabel 4.43 menunjukkan hasil validasi tarif R-2 APJ BJB dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.46. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

Tabel 4.43 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ BJB

Tarif R-1 A APJ BJB	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	1.162.714	1.187.580
Standar Deviasi	211.289,4	259.262,6
Error Mean	2,14%	
Error Variance	22,70%	

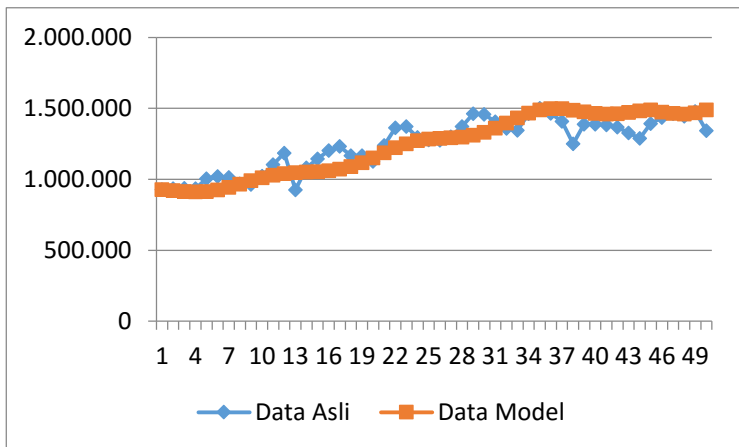


Gambar 4.46 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ BJB



**Tabel 4.44 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ MJK**

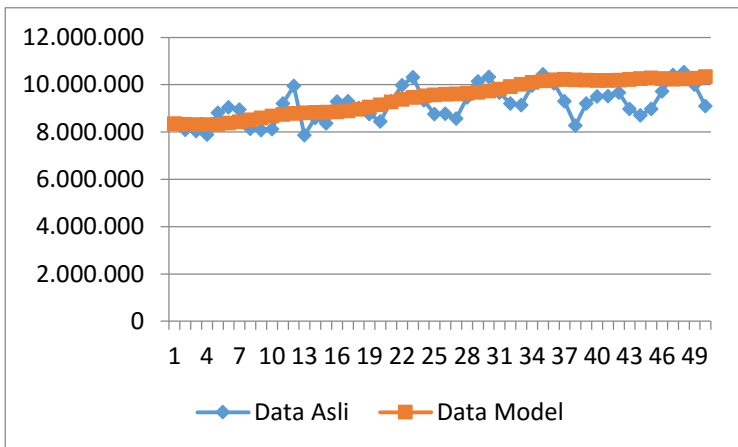
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	1.247.388	1.243.632
Standar Deviasi	181.912,6	214.310,4
<i>Error Mean</i>	0,30%	
<i>Error Variance</i>	17,81%	

**Gambar 4.47 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ MJK**

Tabel 4.44 menunjukkan hasil validasi tarif R-2 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.47. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.45 Hasil Validasi Tarif R-2 APJ SBU**

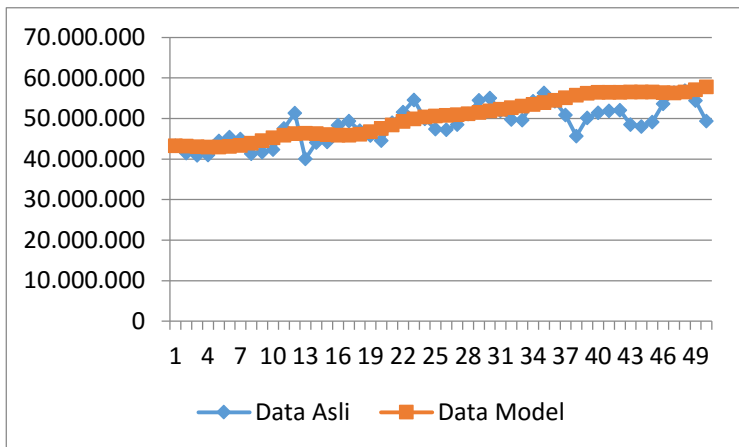
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	9.154.394	9.445.285
Standar Deviasi	737.277,2	715.781
<i>Error Mean</i>	3,18%	
<i>Error Variance</i>	2,92%	

**Gambar 4.48 Grafik Perbandingan Tarif R-2 APJ SBU**

Tabel 4.45 menunjukkan hasil validasi tarif R-2 APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.48. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.46 Hasil Validasi Tarif R-2 Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	48.648.561	50.285.201
Standar Deviasi	4.584.349,941	4.994.681,197
<i>Error Mean</i>	3,36%	
<i>Error Variance</i>	8,95%	

**Gambar 4.49 Grafik Perbandingan Tarif R-2 Total Jawa Timur**

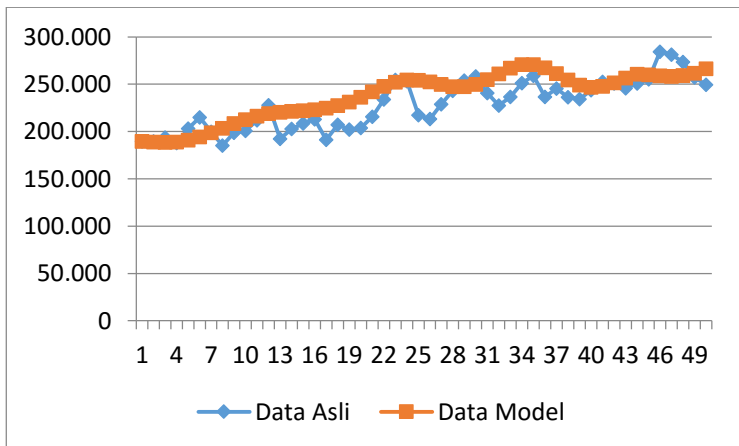
Tabel 4.46 menunjukkan hasil validasi tarif R-2 Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.49. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

#### 4.7.6. Validasi Tarif R-3 >6600 VA

Tabel 4.47 menunjukkan hasil validasi tarif R-3 APJ BJB dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.50. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.47 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ BJB**

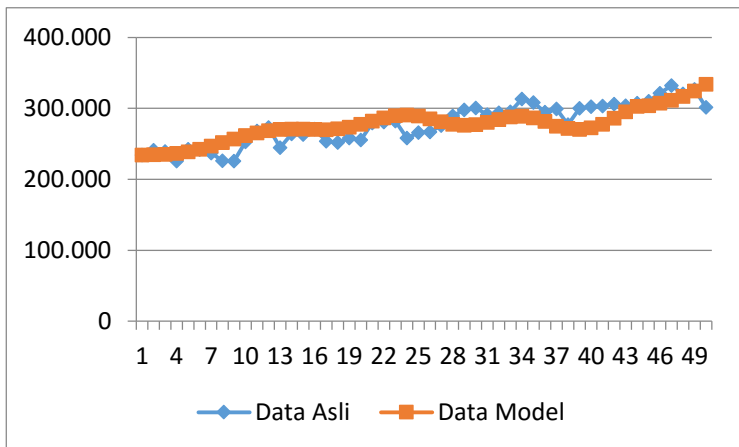
Tarif R-1 A APJ BJB	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	228.159	237.797
Standar Deviasi	26.668,63	25.430,41
<i>Error Mean</i>	4,22%	
<i>Error Variance</i>	4,64%	



**Gambar 4.50 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ BJB**

**Tabel 4.48 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ MJK**

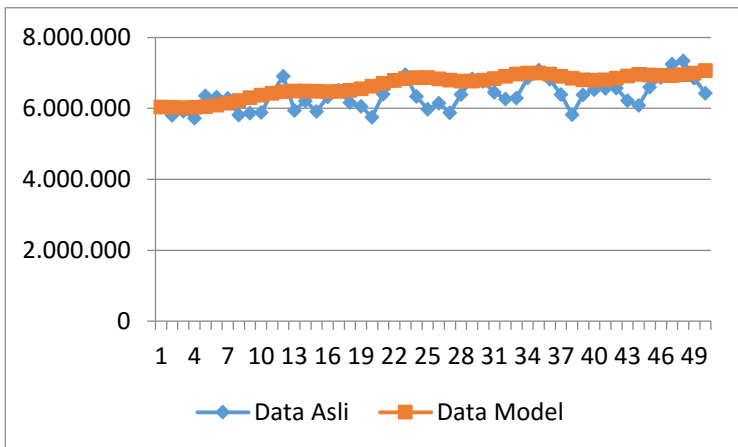
Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	277.481	276.864
Standar Deviasi	29.109,43	22.376,84
<i>Error Mean</i>	0,22%	
<i>Error Variance</i>	23,13%	

**Gambar 4.51 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ MJK**

Tabel 4.48 menunjukkan hasil validasi tarif R-3 APJ MJK dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.51. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.49 Hasil Validasi Tarif R-3 APJ SBU**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	6.366.979	6.654.274
Standar Deviasi	407.908,1	316.508
<i>Error Mean</i>	4,51%	
<i>Error Variance</i>	22,41%	

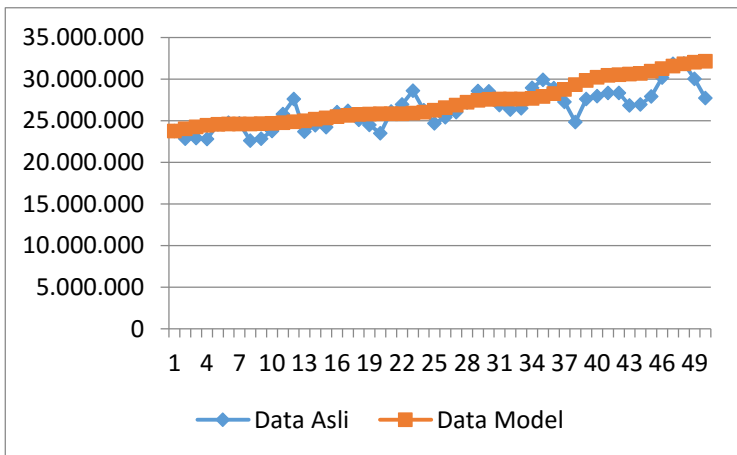
**Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Tarif R-3 APJ SBU**

Tabel 4.49 menunjukkan hasil validasi tarif R-3 APJ SBU dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.52.

Tabel 4.50 menunjukkan hasil validasi tarif R-3 Total Jawa Timur dengan perbandingan grafik data hasil model terhadap data asli pada Gambar 4.53. Hasil validasi menunjukkan data valid, karena *error mean* yang terjadi kurang dari 5% dan *error variance* kurang dari 30%.

**Tabel 4.50 Hasil Validasi Tarif R-3 Total Jawa Timur**

Tarif R-1 A APJ MJK	Data Asli	Data Simulasi Model
Rata-rata	26.402.750	27.205.158
Standar Deviasi	2.341.583,737	2.519.297,322
<i>Error Mean</i>	3,04%	
<i>Error Variance</i>	7,59%	

**Gambar 4.53 Grafik Perbandingan Tarif R-3 Total Jawa Timur**

#### 4.8. Skenario *Demand*

Skenario dilakukan untuk membandingkan hasil peramalan dari beberapa kemungkinan yang terjadi pada data yang ada. *Time bounds* skenario model pada simulasi dinamis perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga di Jawa Timur 1 sampai 200 dengan satuan waktu atau *time step* bulan. Simulasi pada skenario

dimulai dari Januari 2012 sampai Agustus 2028 selama 200 bulan.

Seperti yang dijelaskan pada tahapan sebelumnya, skenario ini dibagi menjadi tiga yaitu *most-likely*, optimis, dan pesimis. Pada skenario, *base model* sebagai model *most-likely* dan dua model lainnya mengikuti *base model*. Namun pertumbuhan PDRB dan populasi yang diubah menurut data yang ada.

Tugas akhir ini menerapkan tiga skenario, yaitu skenario *most-likely* skenario yang merupakan pertumbuhan PDRB dan listrik sesuatu dengan data historis, skenario optimis yang menerapkan kenaikan pertumbuhan PDRB terhadap kebutuhan energi listrik, dan ketiga skenario pesimis yang menerapkan penurunan pertumbuhan PDRB yang mengakibatkan berkurangnya pertumbuhan kebutuhan energi listrik.

Menurut asumsi data yang ada pada pertumbuhan PDRB, pertumbuhan PDRB saat ini mengalami masa normal yaitu 5% pertahunnya. Sedangkan populasi (rumah tangga) mengalami 2,3% pertumbuhan pertahunnya. Jika pertumbuhan PDRB mengalami pertumbuhan yang pesat, itu diasumsikan PDRB pada masa pertumbuhan sebanyak 7%. Jika PDRB mengalami pertumbuhan yang kurang dari normal, itu diasumsikan PDRB mengalami pertumbuhan sebanyak 4%. Jika pertumbuhan populasi rumah tangga mengalami pertumbuhan yang pesat, itu diasumsikan pertumbuhannya sebanyak 2,5%. Sedangkan jika pertumbuhan populasi rumah tangga mengalami penurunan itu diasumsikan pertumbuhannya sebanyak 2%. Hal tersebut diasumsikan berdasarkan data yang ada, dan dengan mengasumsikan batas pertumbuhan. Dimana jika pertumbuhan populasi rumah tangga sudah mencapai lebih dari 2,5% maka dampak pertumbuhan populasi penduduk sudah dapat dianggap sangat tidak aman.

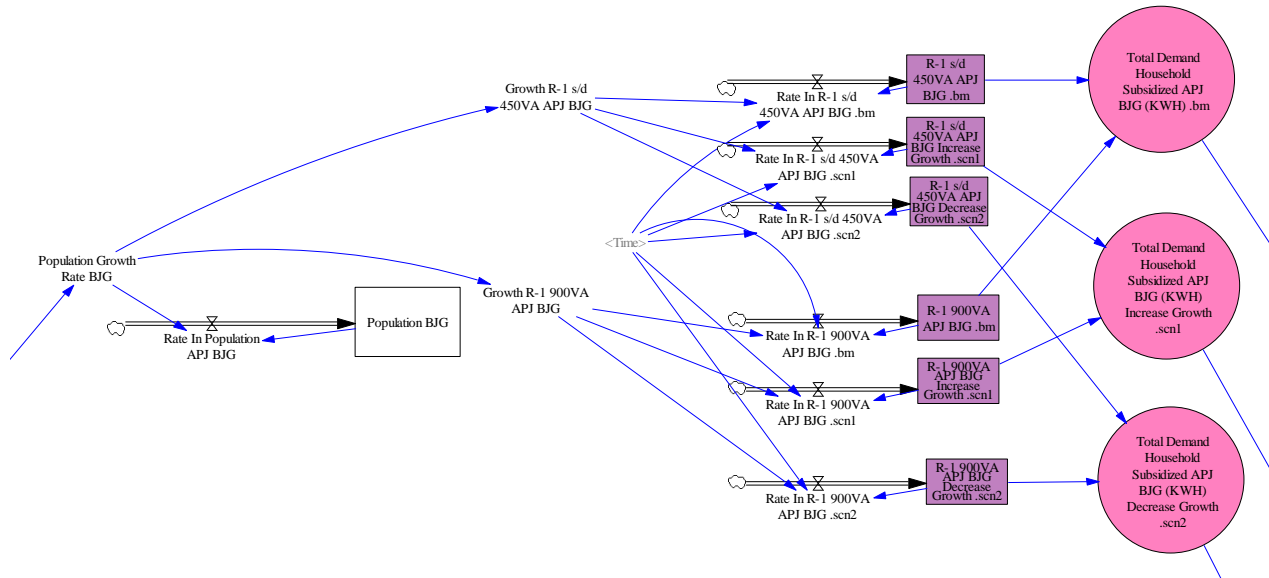
Gambar 4.54 hingga Gambar 4.57 menampilkan model skenario APJ BJG. Setiap tarif memiliki 3 skenario



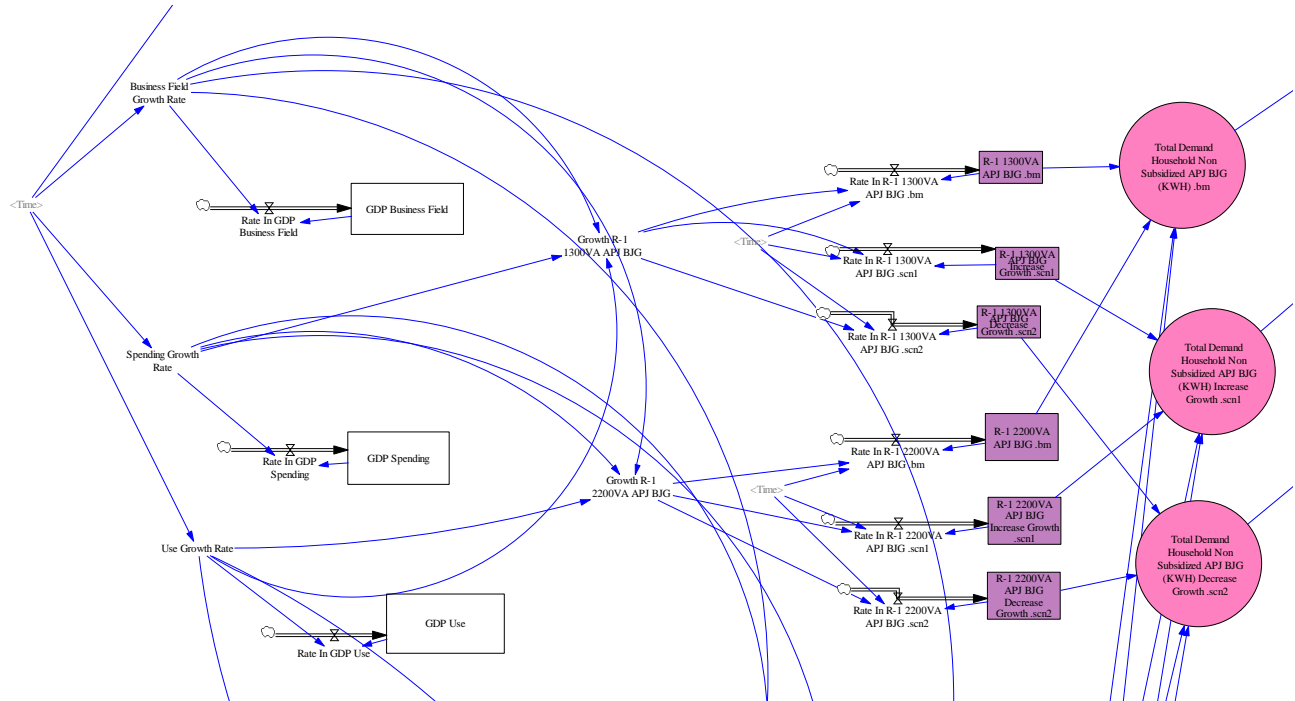
seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Skenario “.bm” adalah skenario *base model*. Model “.bm” menggunakan data asli atau normal. Skenario “.scn1” adalah skenario optimis. Model “.scn1” menggunakan data *increase*. Skenario “.scn2” adalah skenario pesimis. Model “.scn2” menggunakan data *decrease*. Gambar 4.58 hingga Gambar 4.63 menampilkan grafik skenario tiap tarif nya.

Dari tiga skenario yang ada didapatkan hasil simulasi yang berbeda. Untuk APJ BJB ini skenario yang paling baik adalah skenario “.bm” atau *base model*. Pada skenario ini keadaan sesuai dengan keadaan normal, permintaan tidak terlalu tinggi sehingga tidak terjadi peningkatan yang terlalu spesifik tiap tahunnya, dan juga permintaan listrik tidak terlalu rendah sehingga kebutuhan masyarakat juga dapat terpenuhi dan sesuai standar.

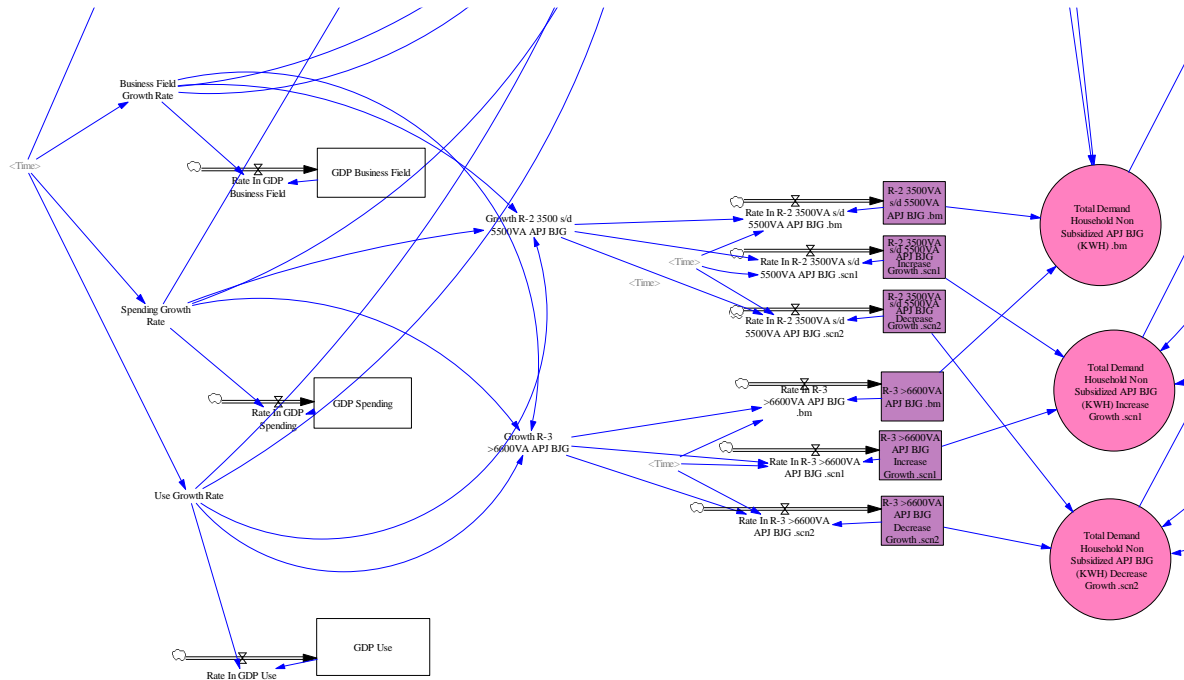
#### 4.8.1. APJ BJB



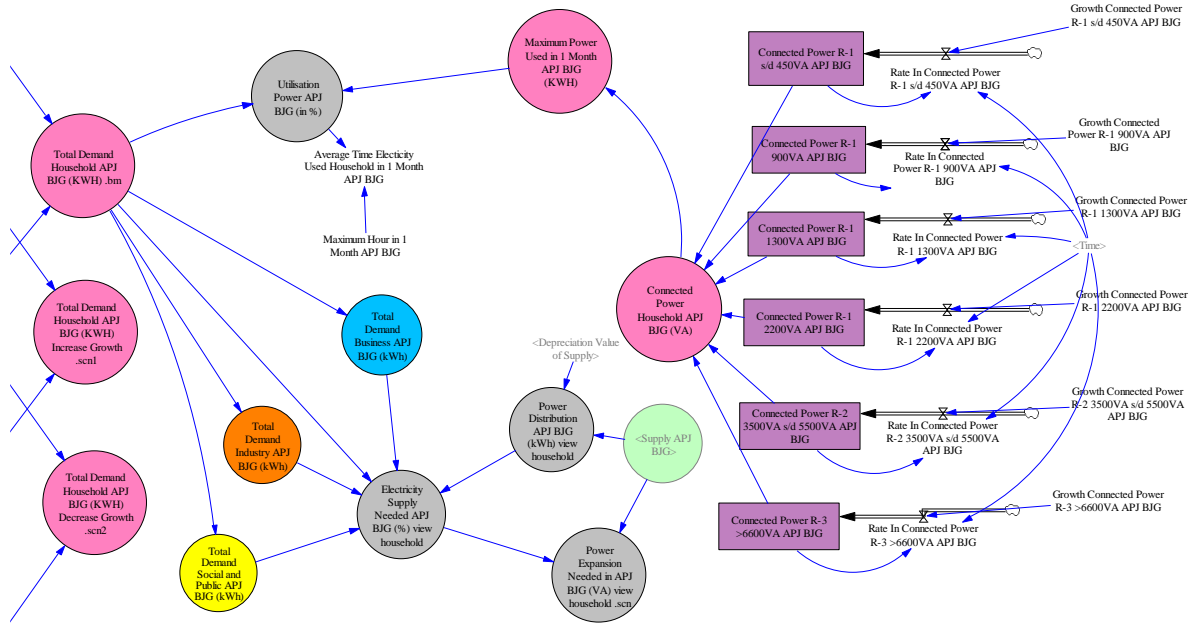
**Gambar 4.54 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ BJB**



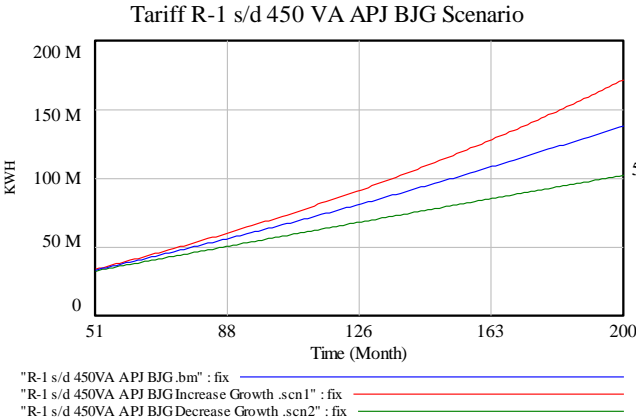
**Gambar 4.55 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ BJT (1)**



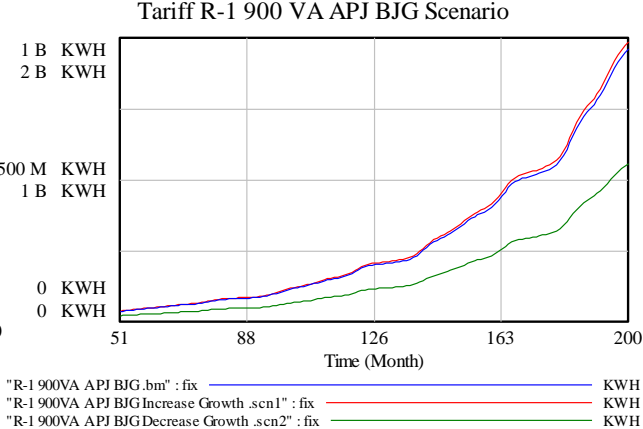
**Gambar 4.56 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ BJT (2)**



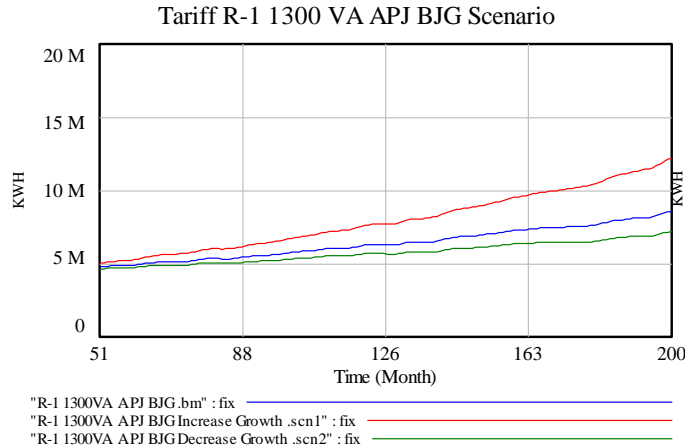
**Gambar 4.57 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dengan Pasokan Listrik APJ BKG**



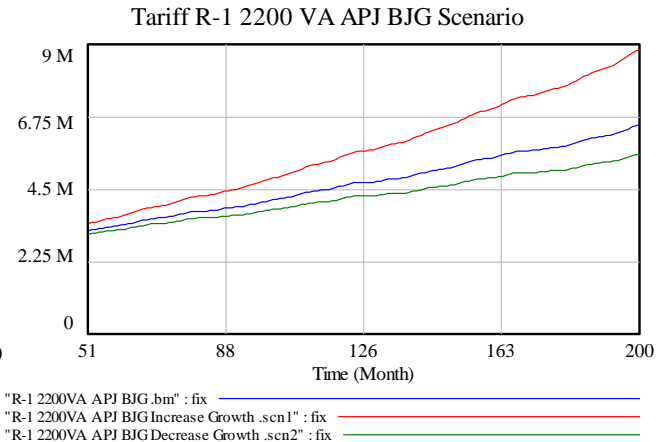
**Gambar 4.58 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 450 VA APJ BJB**



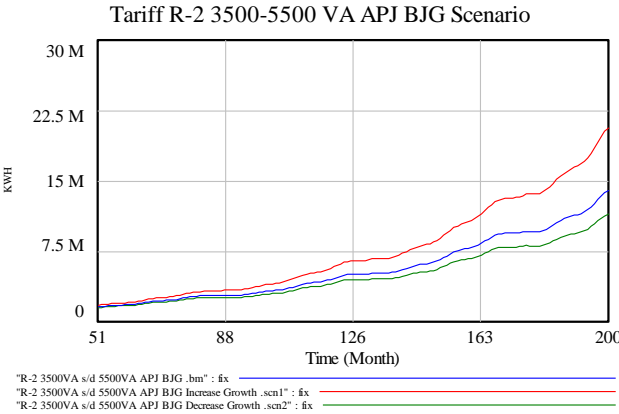
**Gambar 4.59 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 900 VA APJ BJB**



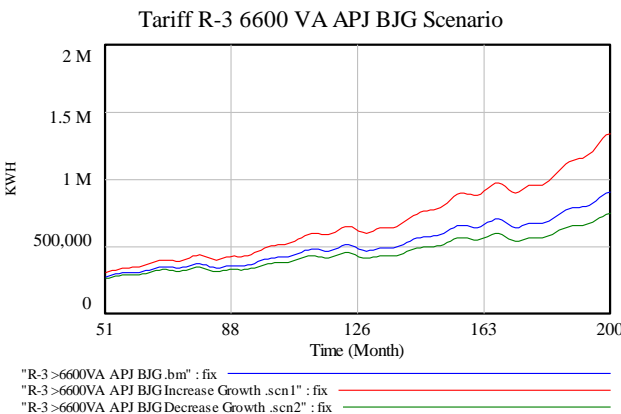
**Gambar 4.61 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 1300 VA APJ BJB**



**Gambar 4.60 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 2200 VA APJ BJB**



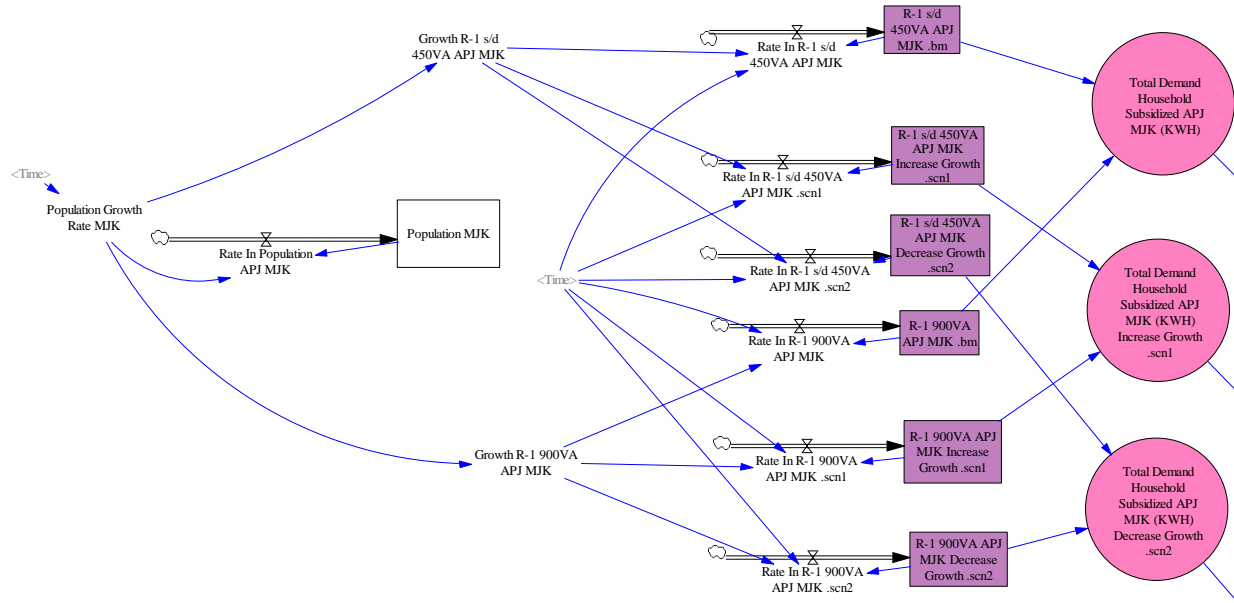
Gambar 4.63 Grafik Skenario Tarif R-2 3500-5500 VA APJ BJB



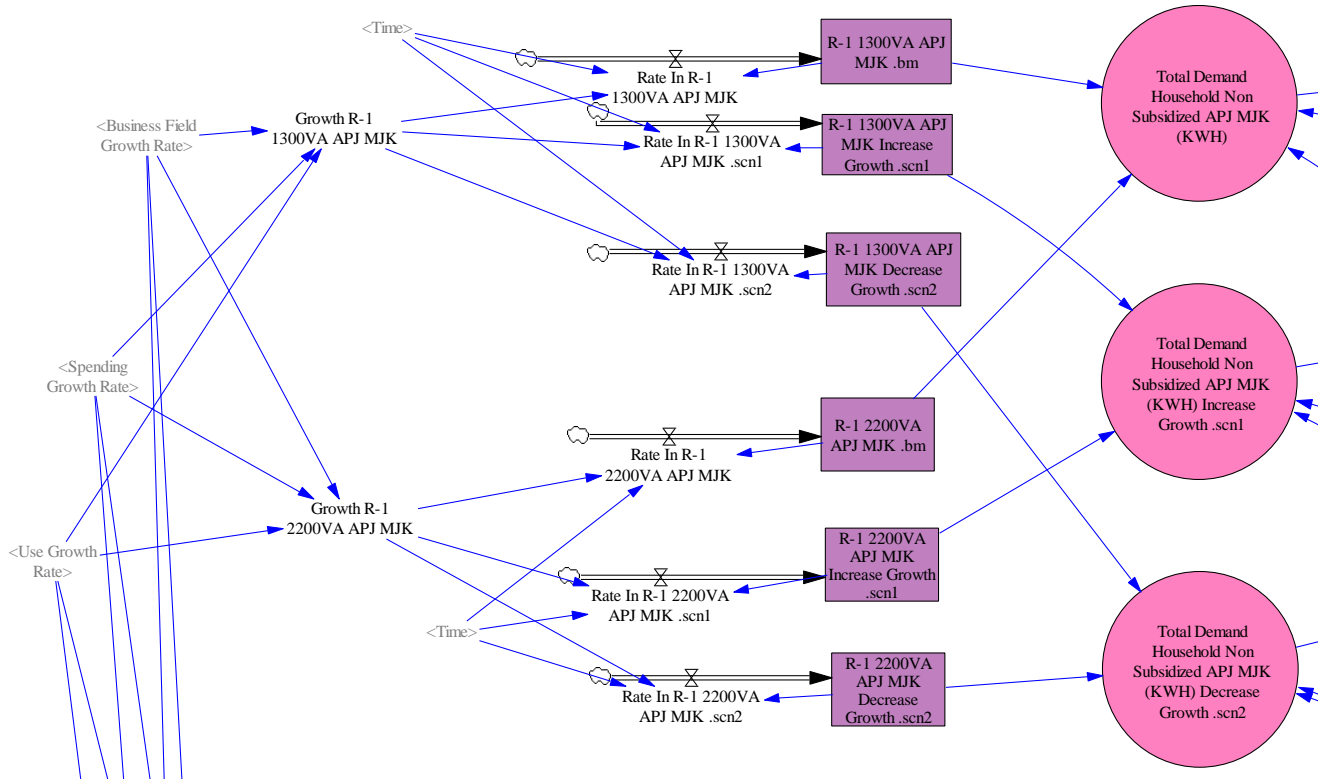
Gambar 4.62 Grafik Skenario Tarif R-3 >6600 VA APJ BJB



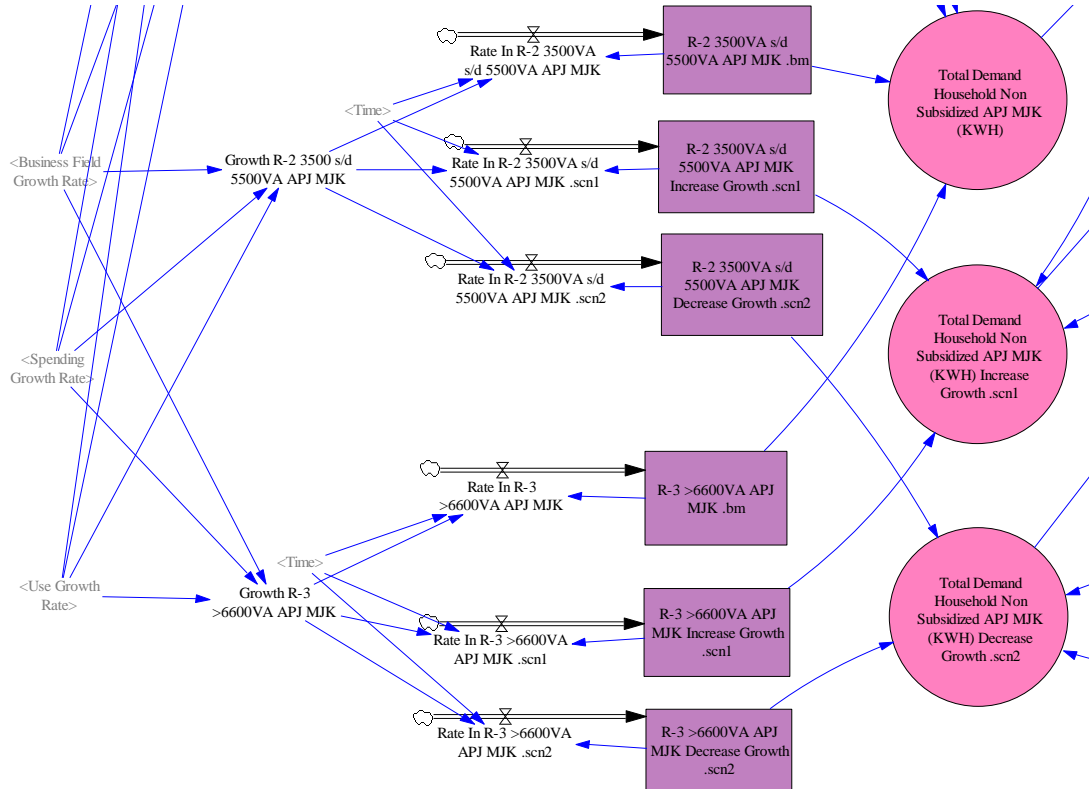
## 4.8.2. APJ MJK



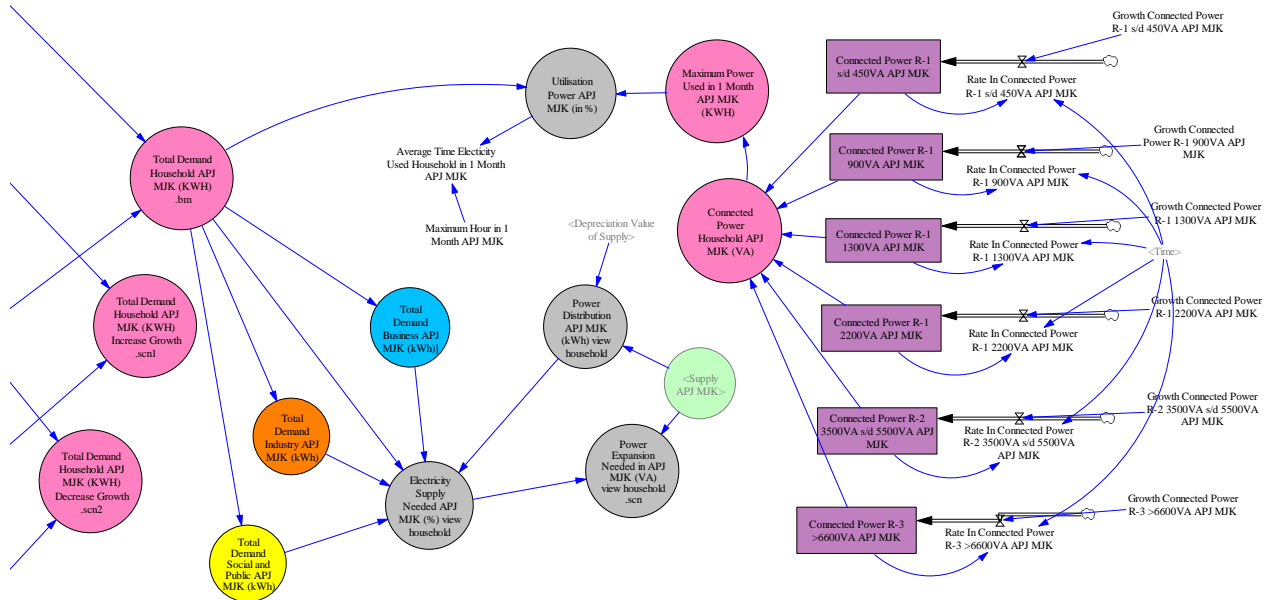
**Gambar 4.64 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ MJK**



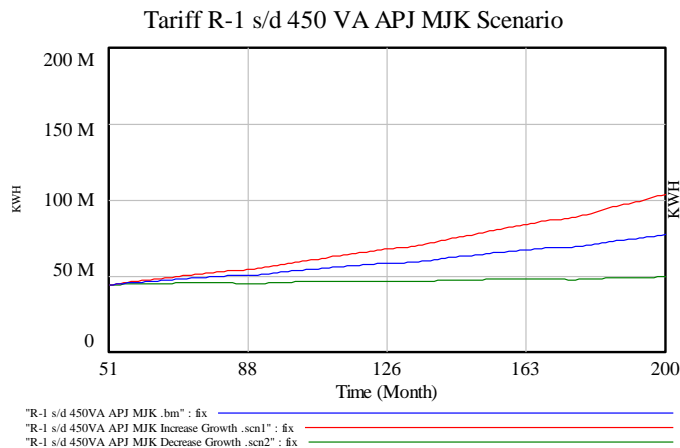
**Gambar 4.65 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ MJK (1)**



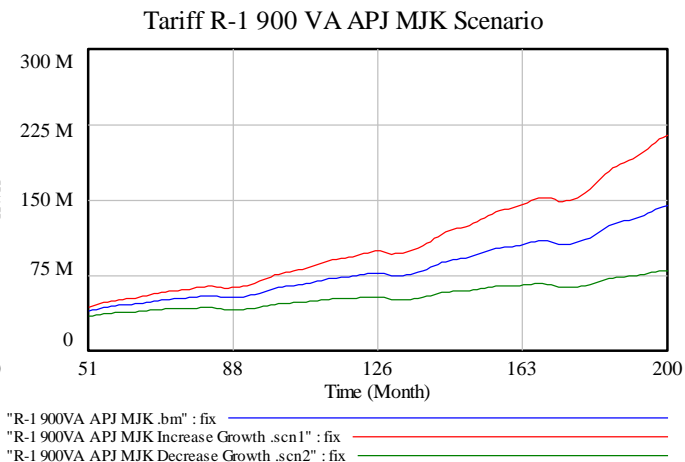
**Gambar 4.66 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ MJK (2)**



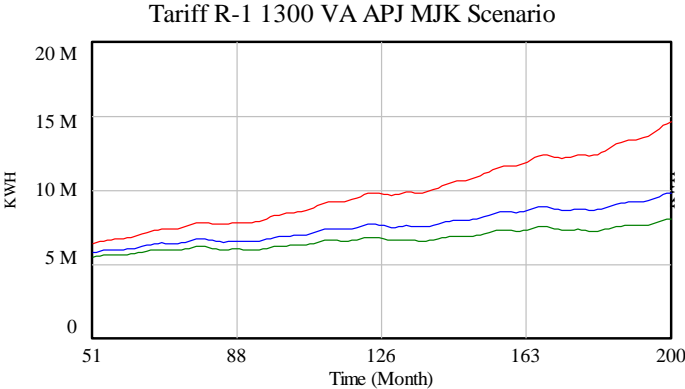
**Gambar 4.67 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik APJ MJK**



**Gambar 4.69 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d  
450 VA APJ MJK**

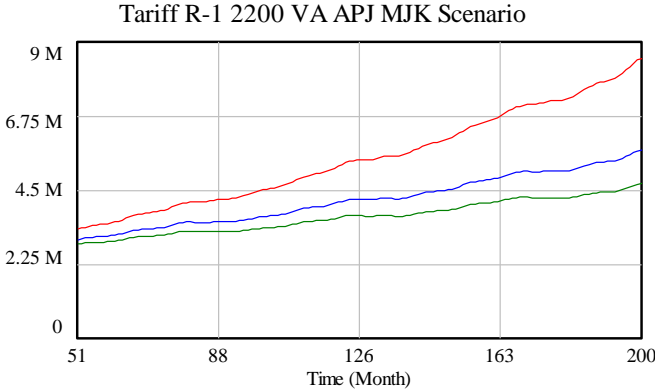


**Gambar 4.68 Grafik Skenario Tarif R-1  
900 VA APJ MJK**



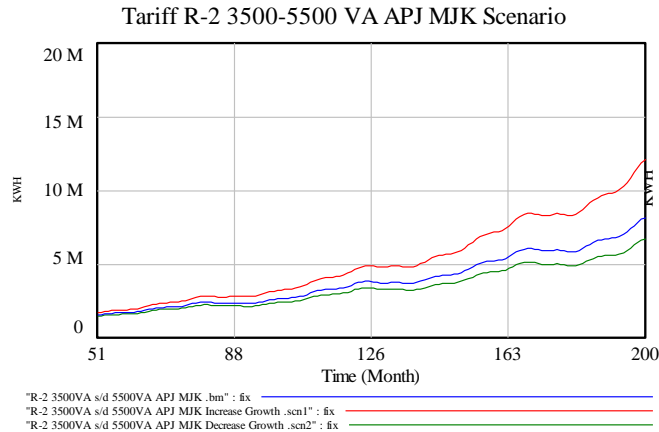
"R-1 1300VA APJ MJK .bm" : fix  
"R-1 1300VA APJ MJK Increase Growth .scn1" : fix  
"R-1 1300VA APJ MJK Decrease Growth .scn2" : fix

**Gambar 4.71 Grafik Skenario Tarif R-1  
1300 VA APJ MJK**

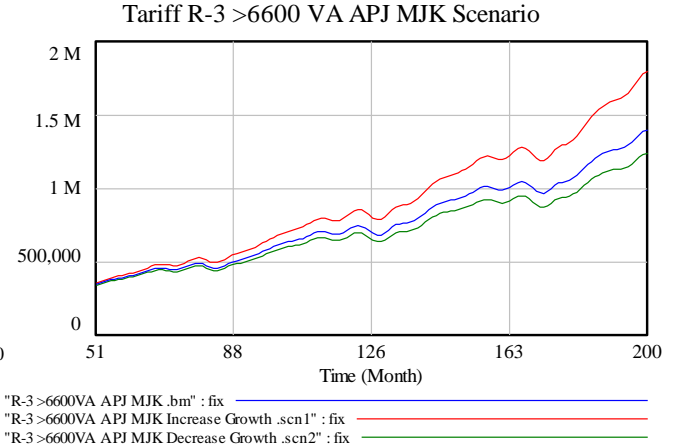


"R-1 2200VA APJ MJK .bm" : fix  
"R-1 2200VA APJ MJK Increase Growth .scn1" : fix  
"R-1 2200VA APJ MJK Decrease Growth .scn2" : fix

**Gambar 4.70. Grafik Skenario Tarif R-1  
2200 VA APJ MJK**



**Gambar 4.73. Grafik Skenario Tarif R-2  
3500-5500 VA APJ MJK**



**Gambar 4.72. Grafik Skenario Tarif R-3  
>6600 VA APJ MJK**

Gambar 4.64 hingga Gambar 4.67 menampilkan model skenario APJ MJK. Setiap tarif memiliki tiga skenario seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Skenario “.bm” adalah skenario *base model*. Model “.bm” menggunakan data asli atau normal. Skenario “.scn1” adalah skenario optimis. Model “.scn1” menggunakan data *increase*. Skenario “.scn2” adalah skenario pesimis. Model menggunakan data *decrease*. Gambar 4.68 hingga Gambar 4.73 menampilkan grafik skenario setiap tarif.

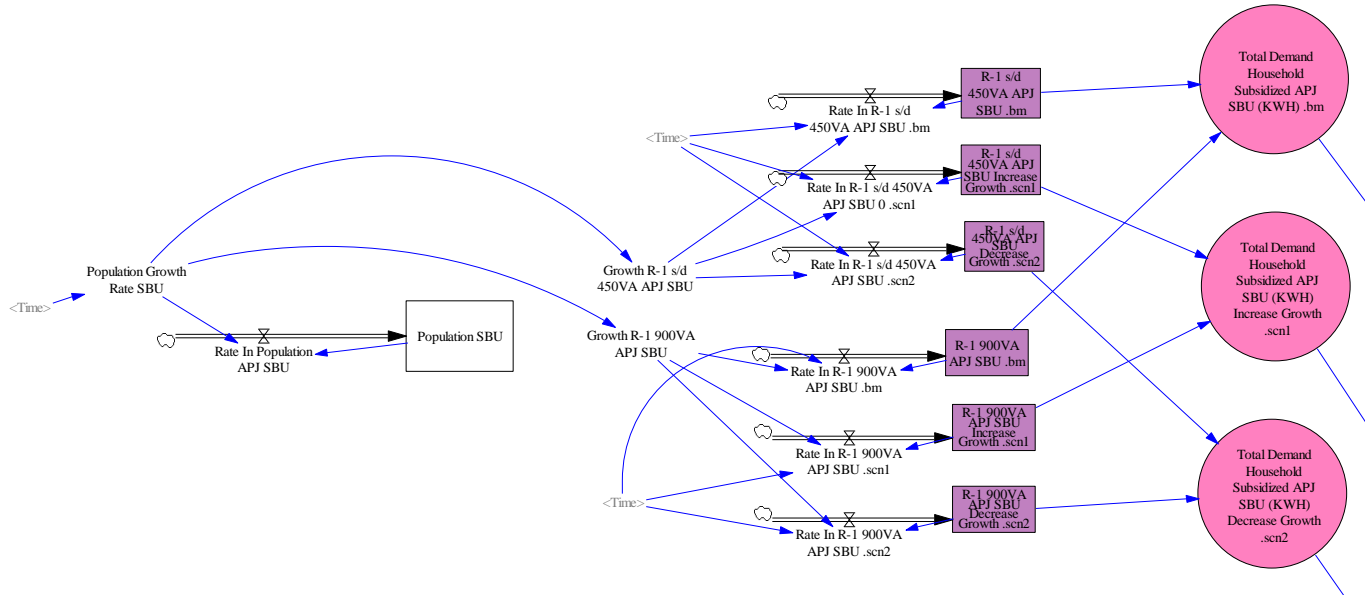
Dari tiga skenario yang ada didapatkan hasil simulasi yang berbeda. Untuk APJ MJK ini skenario yang paling baik adalah skenario “.bm” atau *base model*. Pada skenario ini keadaan sesuai dengan keadaan normal, permintaan tidak terlalu tinggi sehingga tidak terjadi peningkatan yang terlalu spesifik tiap tahunnya, dan juga permintaan listrik tidak terlalu rendah sehingga kebutuhan masyarakat juga dapat terpenuhi dan sesuai standar.

Gambar 4.74 hingga Gambar 4.77 menampilkan model skenario APJ SBU. Setiap tarif memiliki tiga skenario seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Skenario “.bm” adalah skenario *base model*. Model “.bm” menggunakan data asli atau normal. Skenario “.scn1” adalah skenario optimis. Model “.scn1” menggunakan data *increase*. Skenario “.scn2” adalah skenario pesimis. Model “.scn2” menggunakan data *decrease*. Gambar 4.78 hingga Gambar 4.83 menampilkan grafik skenario setiap tarif.

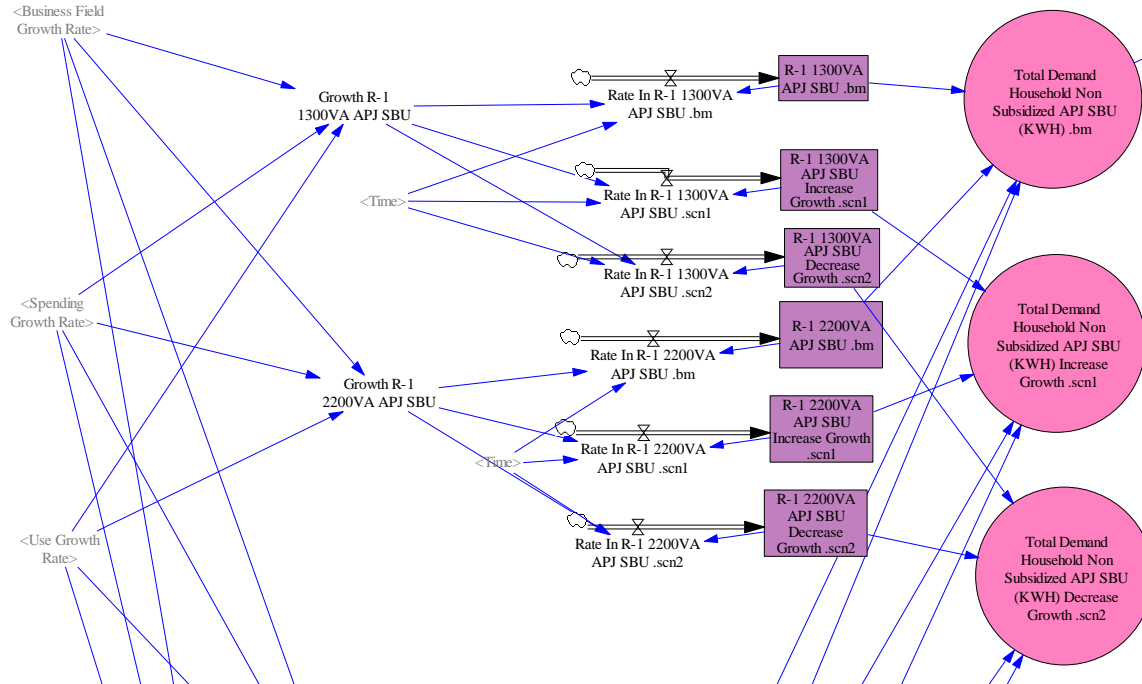
Dari tiga skenario yang ada didapatkan hasil simulasi yang berbeda. Untuk APJ SBU ini skenario yang paling baik adalah skenario “.bm” atau *base model*. Pada skenario ini keadaan sesuai dengan keadaan normal, permintaan tidak terlalu tinggi sehingga tidak terjadi peningkatan yang terlalu spesifik tiap tahunnya, dan juga permintaan listrik tidak terlalu rendah sehingga kebutuhan masyarakat juga dapat terpenuhi dan sesuai standar.



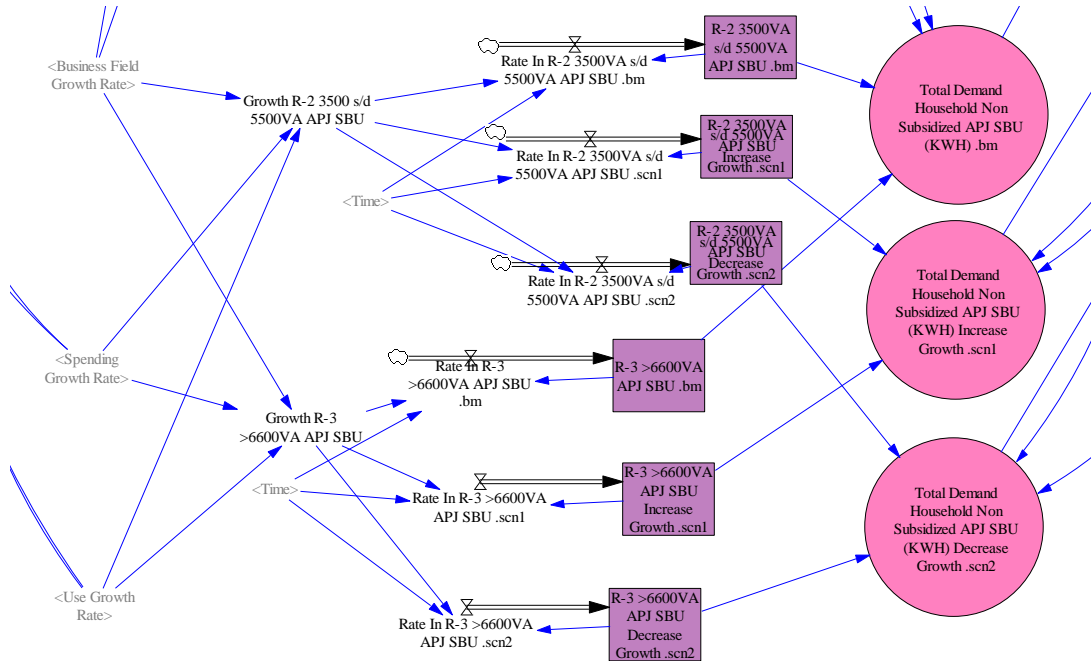
### 4.8.3. APJ SBU



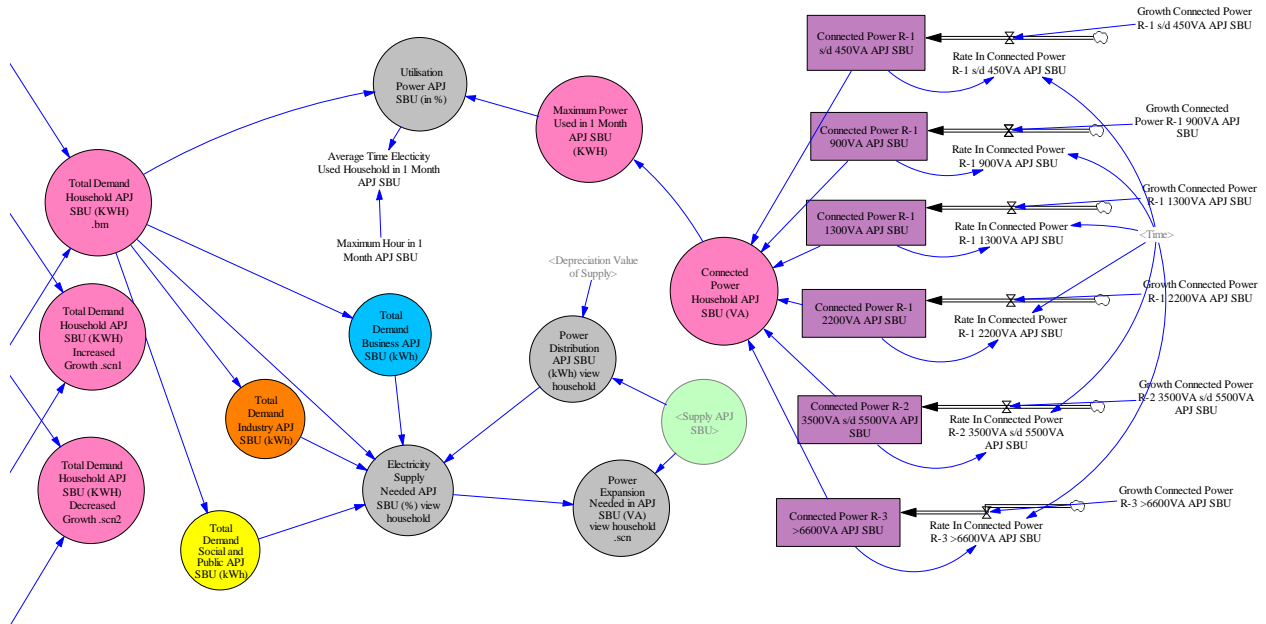
**Gambar 4.74 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi APJ SBU**



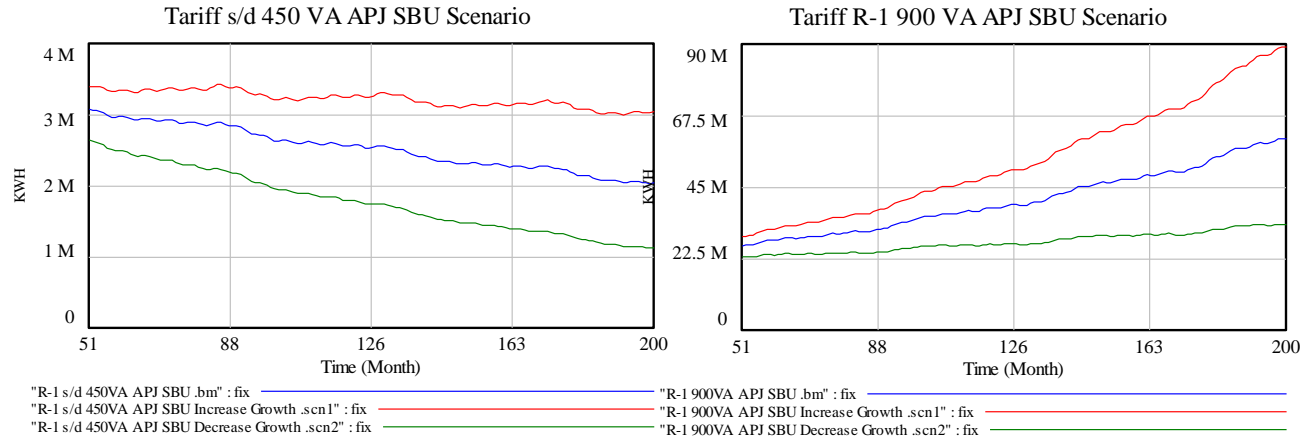
**Gambar 4.75 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ SBU (1)**



**Gambar 4.76 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi APJ SBU (2)**

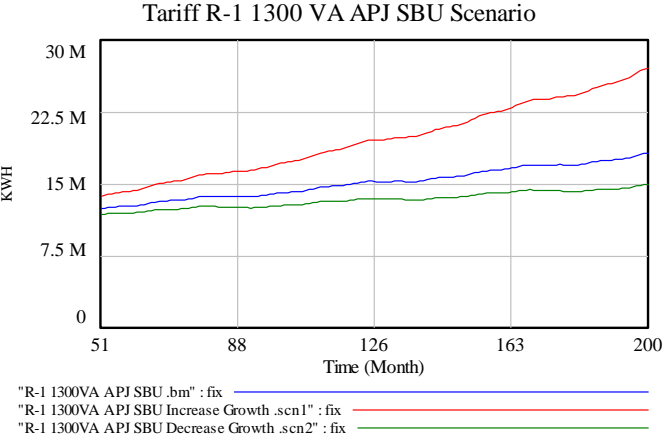


**Gambar 4.77 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik APJ SBU**

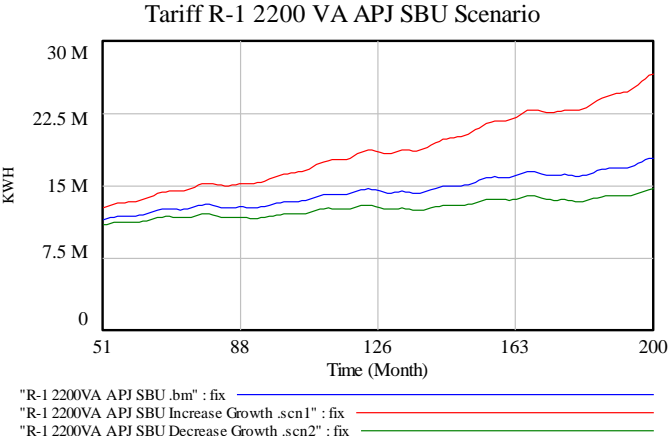


**Gambar 4.79 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d 450 VA APJ SBU**

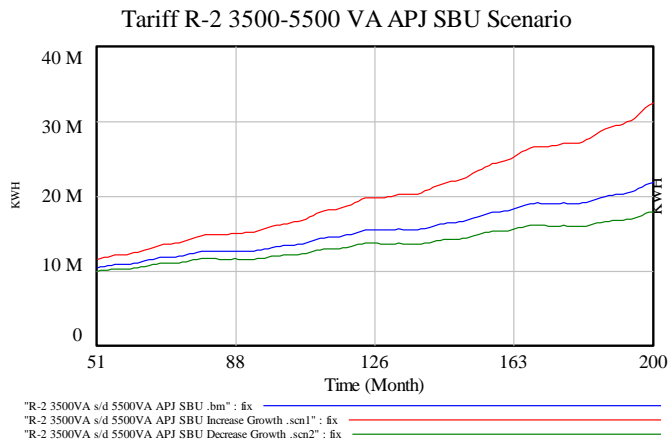
**Gambar 4.78 Grafik Skenario Tarif R-1 900 VA APJ SBU**



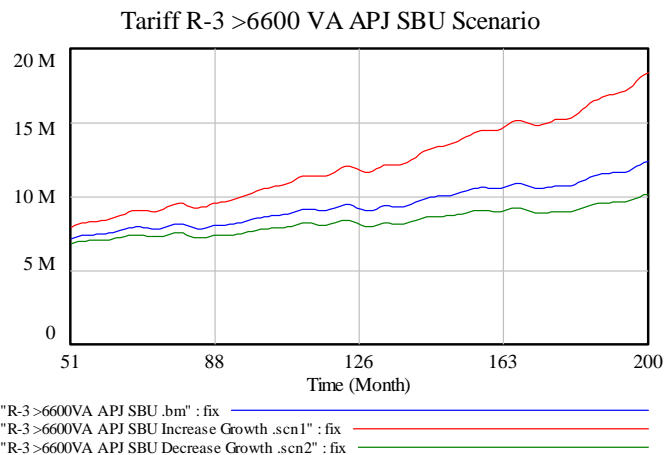
**Gambar 4.81 Grafik Skenario Tarif R-1  
1300 VA APJ SBU**



**Gambar 4.80 Grafik Skenario Tarif R-1 2200 VA  
APJ SBU**

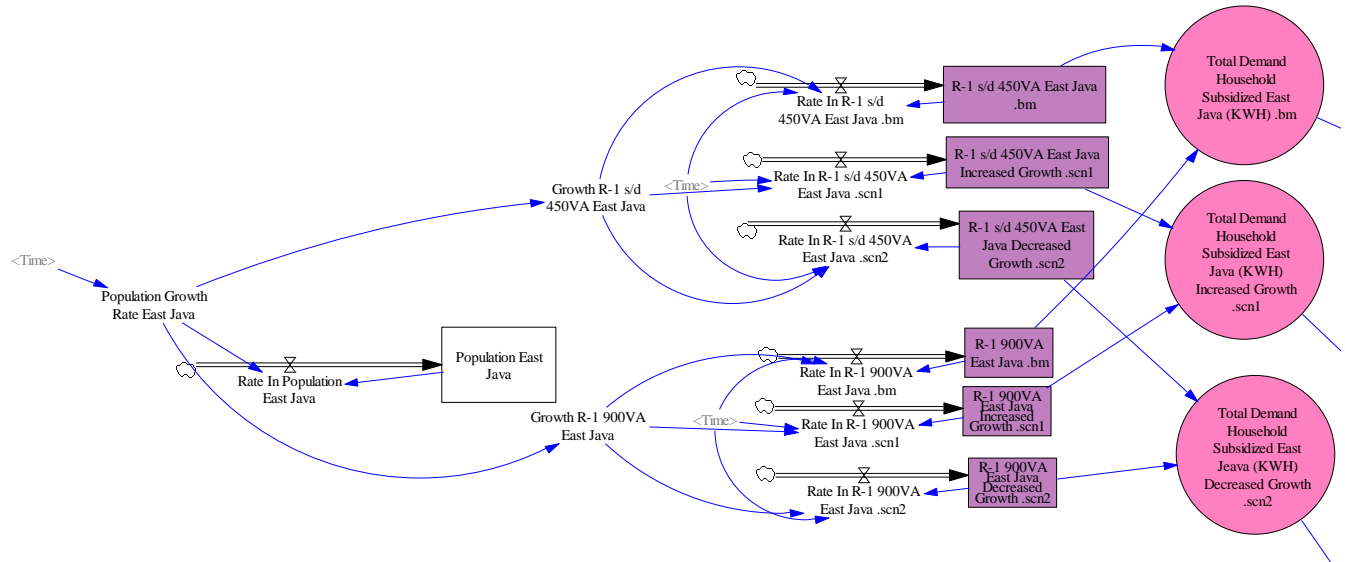


**Gambar 4.83 Grafik Skenario Tarif  
R-2  
3500-5500**



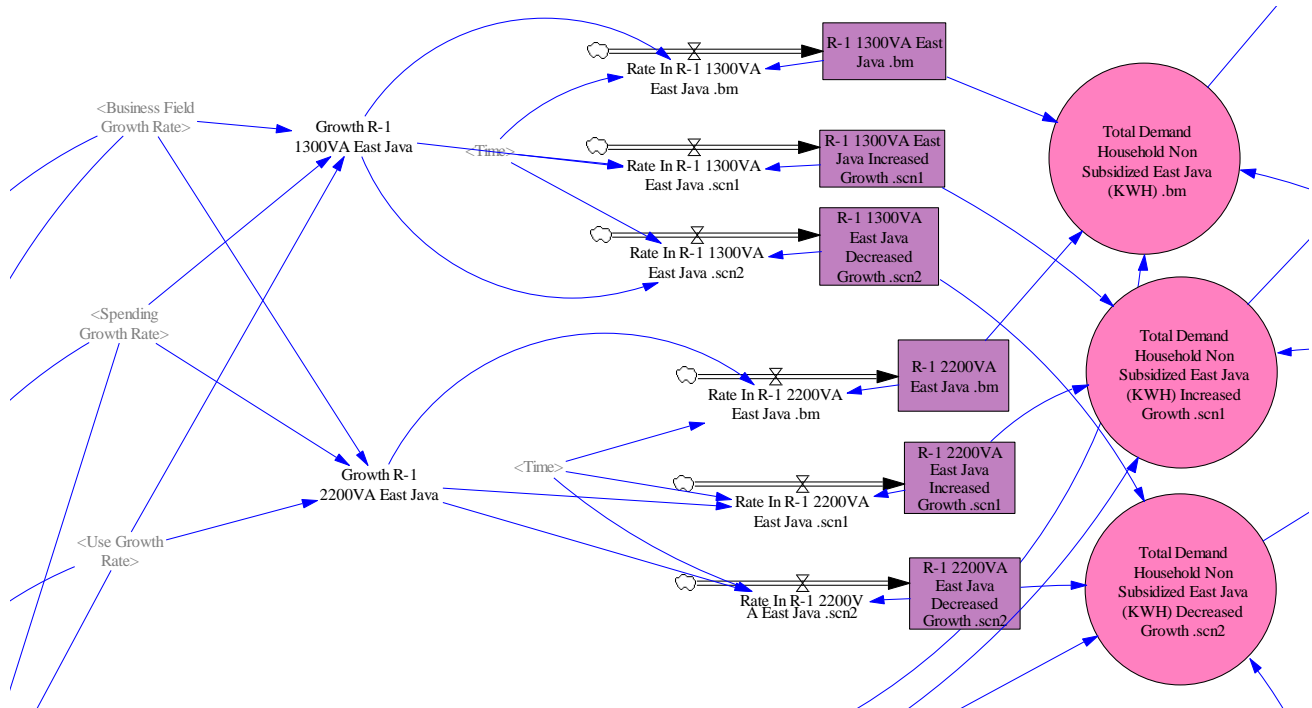
**Gambar 4.82 Grafik Skenario Tarif R-3  
>6600 VA APJ SBU**

#### 4.8.4. Total Jawa Timur

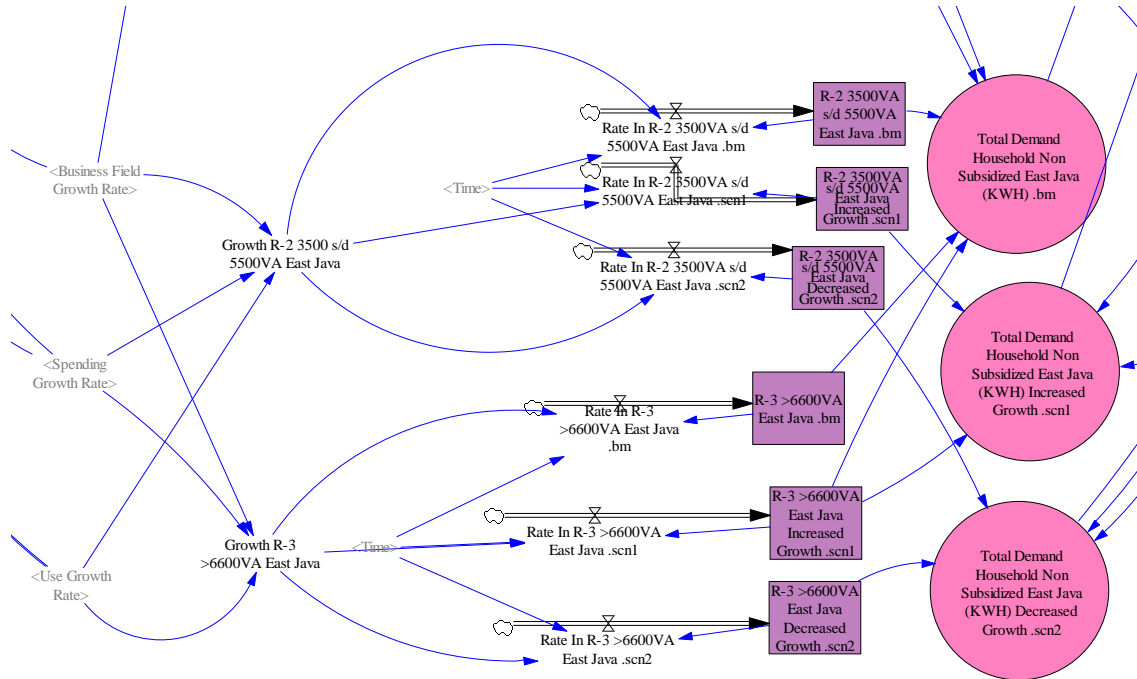


**Gambar 4.84 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi Total Jawa Timur**

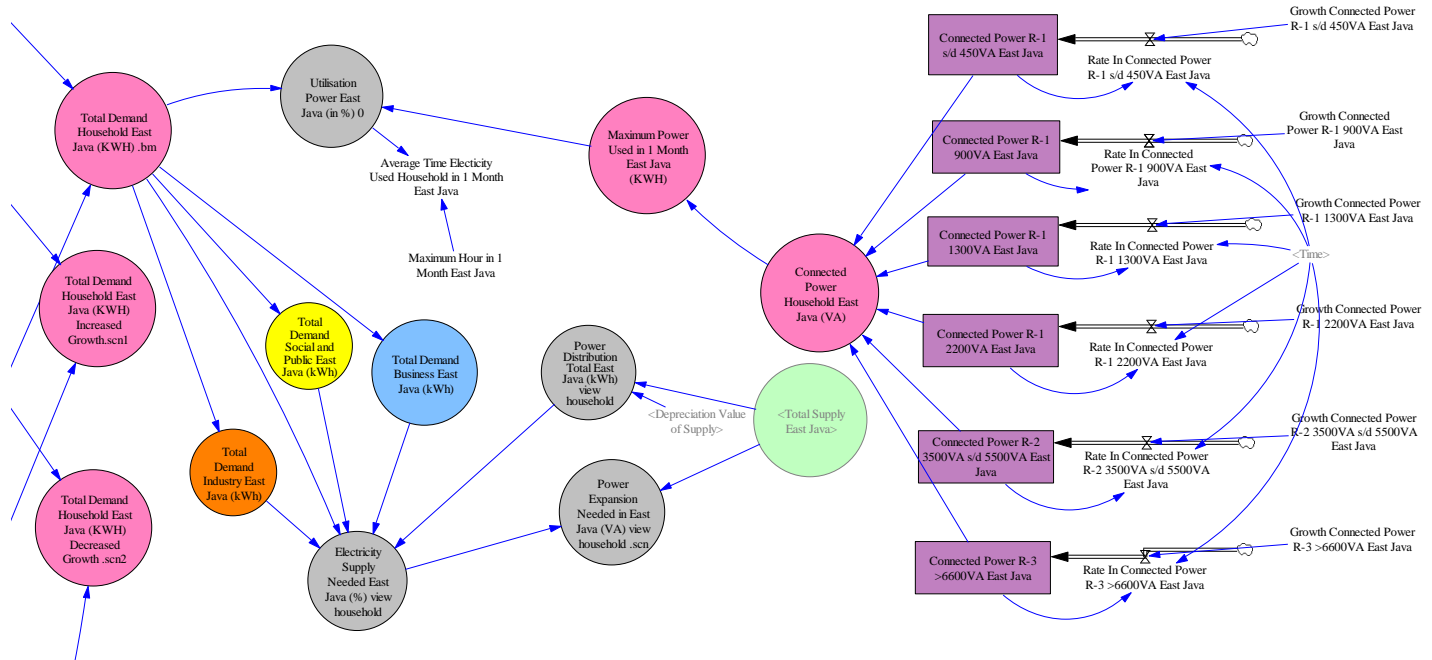




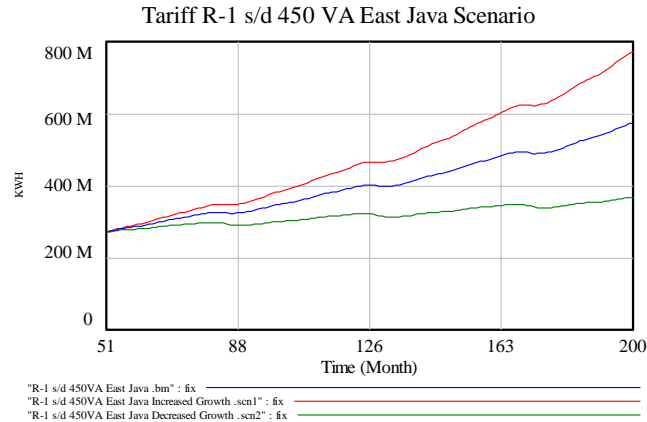
**Gambar 4.85 Skenario Permintaan Listrik Tarif Bersubsidi Total Jawa Timur (1)**



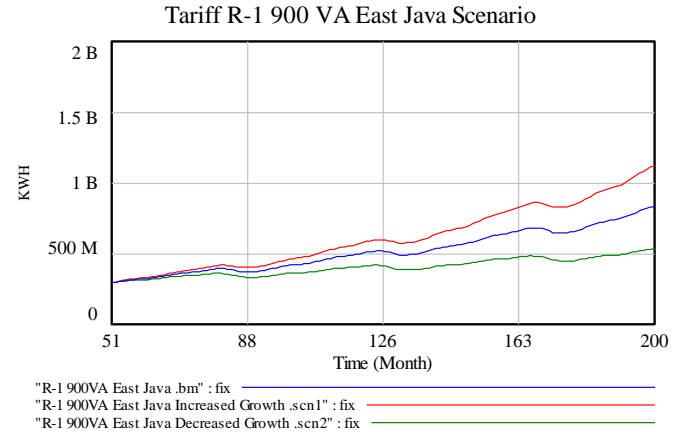
**Gambar 4.86 Skenario Permintaan Listrik Tarif Tidak Bersubsidi Total Jawa Timur (2)**



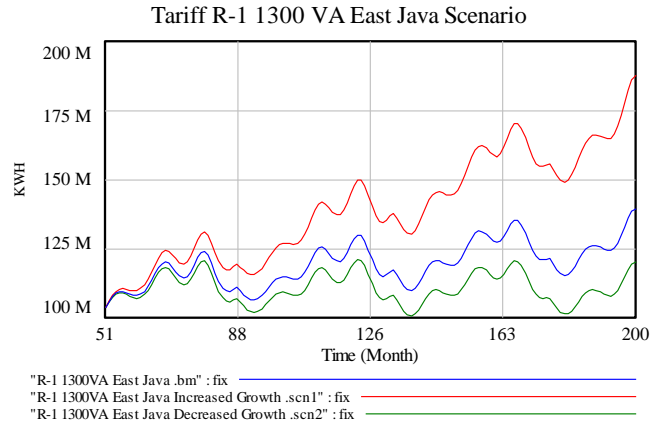
**Gambar 4.87 Skenario Hubungan Permintaan Listrik dan Pasokan Listrik Total Jawa Timur**



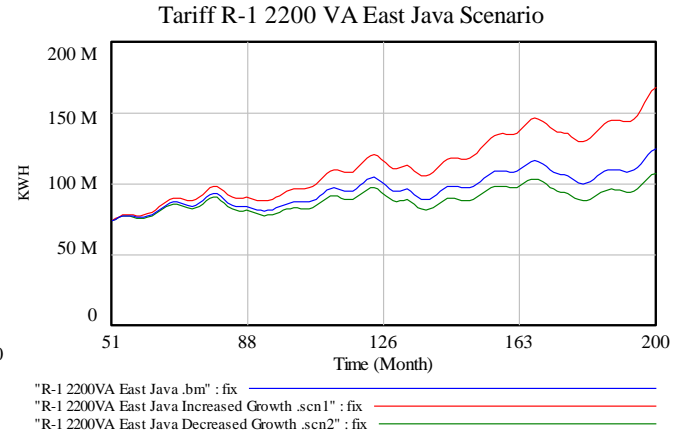
**Gambar 4.89 Grafik Skenario Tarif R-1 s/d  
450 VA Jawa Timur**



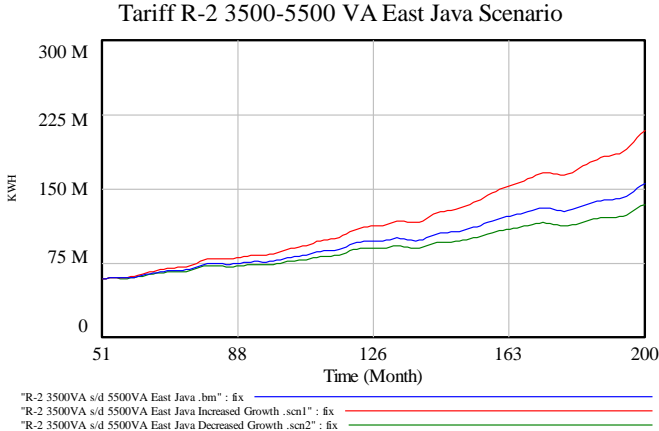
**Gambar 4.88 Grafik Skenario Tarif R-1 900 VA  
Jawa Timur**



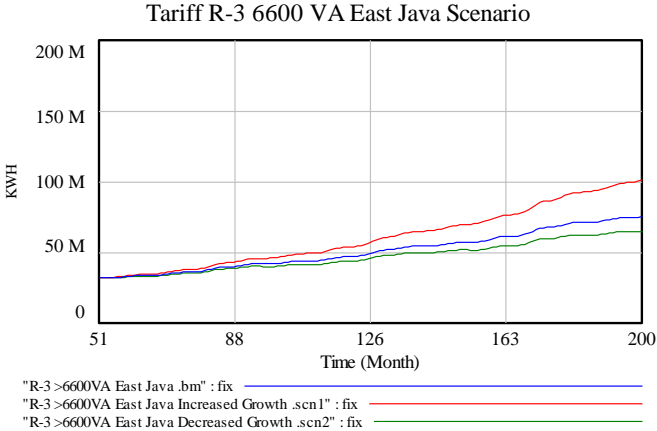
**Gambar 4.91 Grafik Skenario Tarif R-1  
1300 VA Jawa Timur**



**Gambar 4.90 Grafik Skenario Tarif R-1 2200 VA  
Jawa Timur**



**Gambar 4.93 Grafik Skenario Tarif R-2  
3500-5500 VA Jawa Timur**



**Gambar 4.92. Grafik Skenario Tarif R-3 >6600 VA  
Jawa Timur**

Gambar 4.84 hingga Gambar 4.87 menampilkan model skenario total Jawa Timur. Setiap tarif memiliki tiga skenario seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Skenario “.bm” adalah skenario *base model*. Model “.bm” menggunakan data asli atau normal. Skenario “.scn1” adalah skenario optimis. Model “.scn1” menggunakan data *increase*. Skenario “.scn2” adalah skenario pesimis. Model “.scn2” menggunakan data *decrease*. Gambar 4.88 hingga Gambar 4.93 menampilkan grafik skenario setiap tarif.

Hasil dari tiga skenario yang ada didapatkan hasil simulasi yang berbeda. Untuk total Jawa Timur skenario yang paling baik adalah skenario “.bm” atau *base model*. Skenario ini keadaan sesuai dengan keadaan normal, permintaan tidak terlalu tinggi sehingga tidak terjadi peningkatan yang terlalu spesifik tiap tahunnya, dan juga permintaan listrik tidak terlalu rendah sehingga kebutuhan masyarakat juga dapat terpenuhi dan sesuai standar.

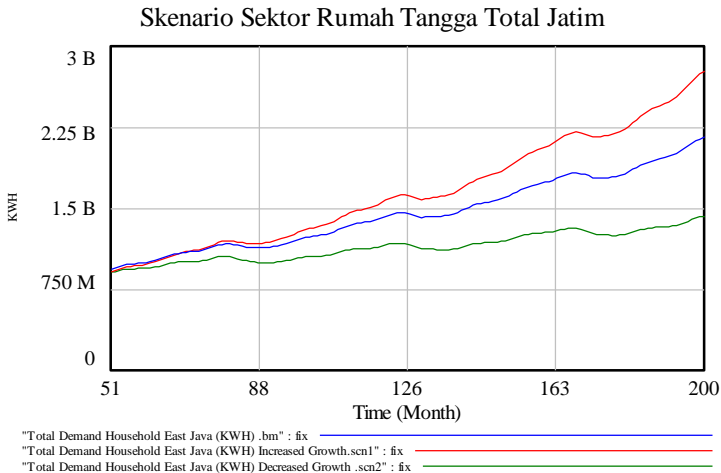
Gambar 4.94 ditampilkan grafik skenario total sektor rumah tangga di Jawa Timur. Skenario “.bm” adalah skenario *base model*. Model “.bm” menggunakan data asli atau normal. Skenario “.scn1” adalah skenario optimis. Model “.scn1” menggunakan data *increase*. Skenario “.scn2” adalah skenario pesimis. Model “.scn2” menggunakan data *decrease*. Pada Tabel 4.51 ditampilkan pertumbuhan hasil skenario sektor rumah tangga di Jawa Timur.

## 4.9. Skenario Supply

Pertumbuhan *demand* sektor rumah tangga dan sektor lainnya menyebabkan gardu induk PLN suatu saat tidak akan mampu lagi memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan.

Gambar 4.95 menjelaskan pada *time step* 45 atau sekitar September 2015 *supply* di APJ BJG sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan, penanganan sementara yang dilakukan PLN adalah memasok kebutuhan energi listrik tambahan dari gardu induk di APJ sekitar APJ BJG.

Sedangkan pada *time step* 200 atau Agustus 2028 terjadi kenaikan tajam hampir 70 miliar VA *supply* tambahan yang dibutuhkan pada APJ BJG, hal ini dikarenakan pesatnya kenaikan kebutuhan dan daerah Bojonegoro dengan tumbuhnya perekonomian lebih baik. Hal ini juga selaras dengan ketersediaan lahan yang masih banyak untuk seluruh sektor yang menunjang perekonomian yang terus tumbuh. Sedangkan pada APJ SBU dikarenakan daerah metropolitan dikarenakan kenaikan kebutuhan listrik yang tidak terlalu pesat sehingga *supply* tambahan baru dari gardu induk diperlukan pada sekitar 2022 atau *time step* 130 yang ditunjukkan pada Gambar 4.96. Sedangkan pada Agustus 2028 hanya dibutuhkan sekitar 7 miliar VA *supply* tambahan. Pada *time step* 16 sendiri di sektor industri terjadi anomali kebutuhan energi listrik di sektor industri, yaitu kenaikan sepuluh kali lipat kebutuhan energi listrik di sektor industri, sehingga penanganan sementara adalah penambahan pasokan dari gardu induk pada APJ di sekitar APJ SBU.

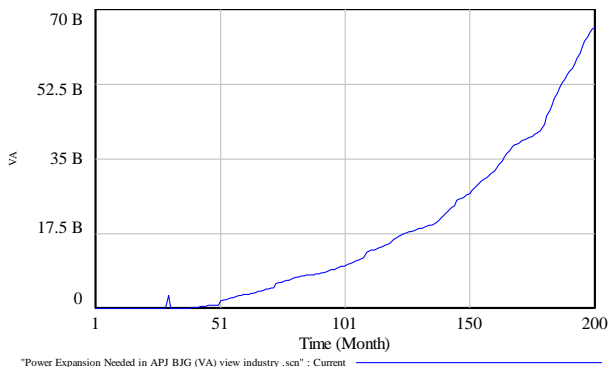


**Gambar 4.94 Grafik Skenario Total Sektor Rumah  
Tangga Jawa Timur**



**Tabel 4.51 Pertumbuhan Hasil Skenario Sektor Rumah  
Tangga Jawa Timur**

<i>Type</i>	<i>Growth per Month</i>	<i>Growth per Year</i>
<i>Most-Likely</i>	0,56%	6,69%
<i>Increased</i>	0,75%	9,01%
<i>Decreased</i>	0,31%	3,75%

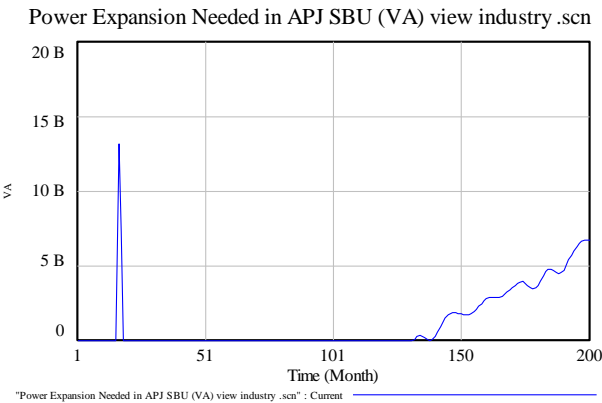


**Gambar 4.95 Skenario Supply APJ BJB**

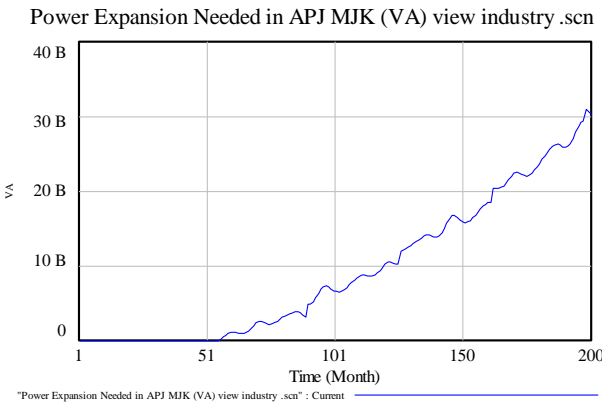
Gambar 4.97 menjelaskan pada *time step* 58 atau akan terjadi pada sekitar Oktober 2016 *supply* di APJ MJK sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Pada Agustus 2028 diperlukan ekspansi daya listrik sekitar 30 miliar VA untuk memasok kebutuhan energi listrik pelanggan di APJ MJK.

Gambar 4.98 menjelaskan secara keseluruhan di Jawa Timur pada *time step* 95 atau akan terjadi pada sekitar akhir tahun 2019 *supply* di Jawa Timur sudah tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik pelanggan. Pada Agustus 2028 diperlukan

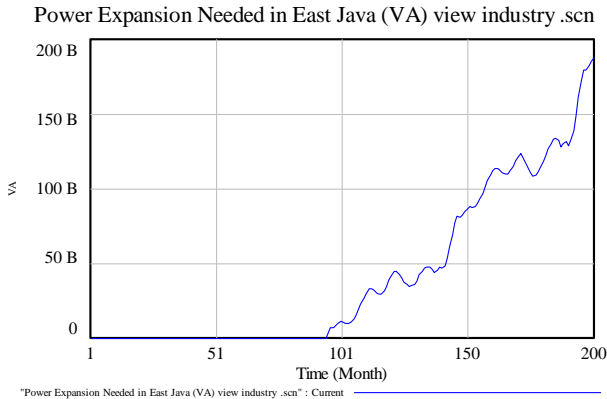
ekspansi daya listrik hampir 200 miliar VA untuk memasok kebutuhan energi listrik pelanggan di seluruh Jawa Timur.



**Gambar 4.96 Skenario *Supply* APJ SBU**



**Gambar 4.97 Skenario *Supply* APJ MJK**



**Gambar 4.98 Skenario *Supply* Jawa Timur**

#### **4.10. Perbandingan Model Simulasi Dinamis dengan DKL 3.2**

Untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian maka perlu adanya validasi dan pembandingan. Tahap validasi telah dilakukan pada tahap sebelumnya, pada tahap akhir saatnya membandingkan hasil model dengan hasil yang sudah ada sebelumnya. Pada kasus ini pembandingan yang digunakan adalah Dokumen Simulasi Proyeksi Kebutuhan Listrik (DKL) 3.2 [15]. Pada DKL perhitungan peramalan permintaan energi listrik menggunakan rumus tetap (lihat Bab 2.4).

Perbandingan yang akan dilakukan adalah perbandingan hasil total ketiga APJ (APJ BJG, MJK, dan SBU) dan total Jawa Timur untuk sektor rumah tangga. Tabel-tabel pada subbab berikut merupakan tabel perbandingan hasil data asli, data model, dengan data DKL.

##### **4.10.1. Perbandingan APJ BJG**

Hasil analisis APJ BJG dapat dilihat bahwa *error* dari data DKL lebih besar dibandingkan dengan data hasil model. Pada grafik hasil model memiliki perbedaan yang kecil

terhadap data asli, sedangkan grafik hasil DKL memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada grafik DKL pertumbuhan terjadi sangat pesat dan grafik berada di atas data asli dan juga data model. Sedangkan grafik data model masih berada di area data asli.

**Tabel 4.52 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL  
APJ BJJ**

<b>Koefisien</b>	<b>Persentase</b>
gE	3,23%
eRT	23,61%
UK	64,14675
$\Delta$ Pel.RT	3.743,265

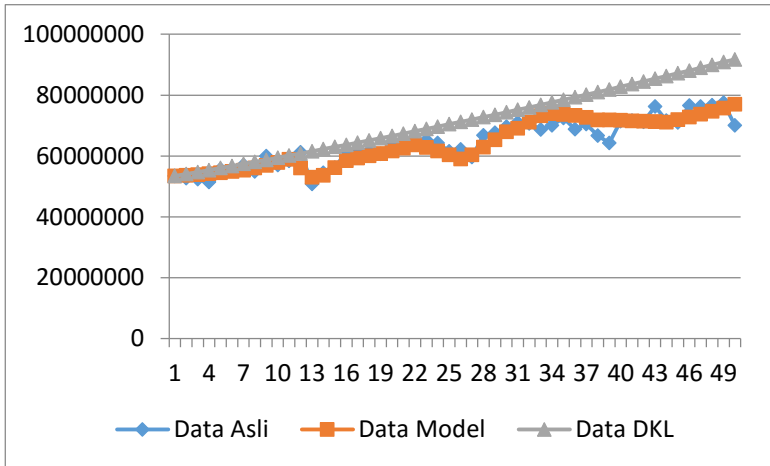
**Tabel 4.53 Perhitungan Perbandingan APJ BJJ**

	<b>Data Asli</b>	<b>Data Model</b>	<b>Data DKL</b>
<b>Rata2</b>	64.392.632	64.198.123	71.445.734
<b>Standar Deviasi</b>	7.489.030,345	7.728.021,722	11.394.795,58
<b>Error Data Model dengan data asli</b>	<b>Error Mean</b>	-0,30%	
	<b>Error Variance</b>	3,19%	
<b>Error DKL dengan data asli</b>	<b>Error Mean</b>	10,95%	
	<b>Error Variance</b>	52,15%	

#### **4.10.1. Perbandingan APJ MJK**

Hasil analisis APJ MJK dapat dilihat bahwa *error* dari data DKL lebih besar dibandingkan dengan data hasil model. Pada grafik hasil model memiliki perbedaan yang kecil terhadap data asli, sedangkan grafik hasil DKL memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada grafik DKL

pertumbuhan terjadi sangat pesat dan grafik berada di atas data asli dan juga data model. Sedangkan grafik data model masih berada di area data asli.



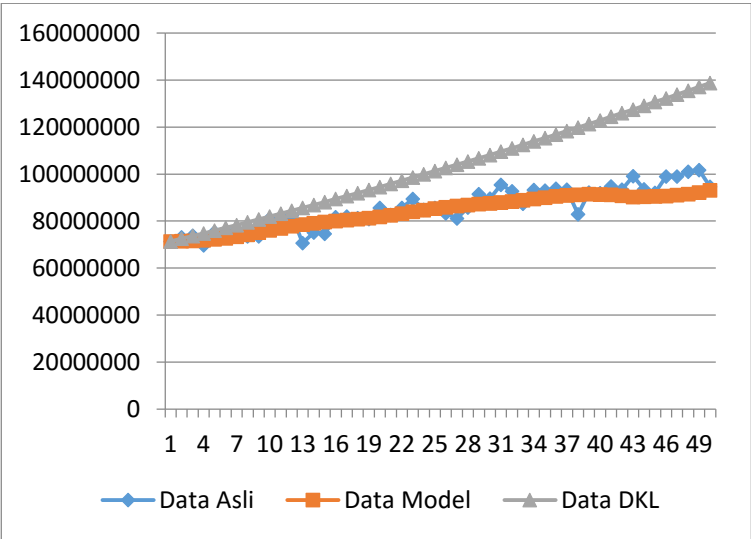
**Gambar 4.99 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ BJJ**

**Tabel 4.54 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL APJ MJK**

Koefisien	Persentase
gE	3,23%
eRT	23,61%
UK	87,89212382
$\Delta$ Pel.RT	6.754,60062

Tabel 4.55 Perhitungan Perbandingan APJ MJK

	Data Asli	Data Model	Data DKL
Rata2	85.573.324	83.866.719	103.007.447
Standar Deviasi	8.933.575,994	6.977.944,526	20.018.168,63
Error Data Model dengan data asli	Error Mean	-1,99%	
	Error Variance	-21,89%	
Error DKL dengan data asli	Error Mean	20,37%	
	Error Variance	124,08%	



Gambar 4.100 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ MJK

#### 4.10.2. Perbandingan APJ SBU

Hasil analisis APJ SBU dapat dilihat bahwa *error* dari data DKL lebih besar dibandingkan dengan data hasil model. Pada grafik hasil model memiliki perbedaan yang kecil terhadap data asli, sedangkan grafik hasil DKL memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada grafik DKL pertumbuhan terjadi sangat pesat dan grafik berada di atas data asli dan juga data model. Sedangkan grafik data model masih berada di area data asli.

**Tabel 4.56 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL APJ SBU**

Koefisien	Persentase
gE	3,23%
eRT	23,61%
UK	81,15
$\Delta PeI.RT$	4.579,46024

Hasil analisis data ketiga APJ tersebut dapat dilihat bahwa *error* dari data DKL lebih besar dibandingkan dengan data hasil model. Pada grafik hasil model memiliki perbedaan yang kecil terhadap data asli, sedangkan grafik hasil DKL memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada grafik DKL pertumbuhan terjadi sangat pesat dan grafik berada di atas data asli dan juga data model. Grafik data model masih berada di area data asli.

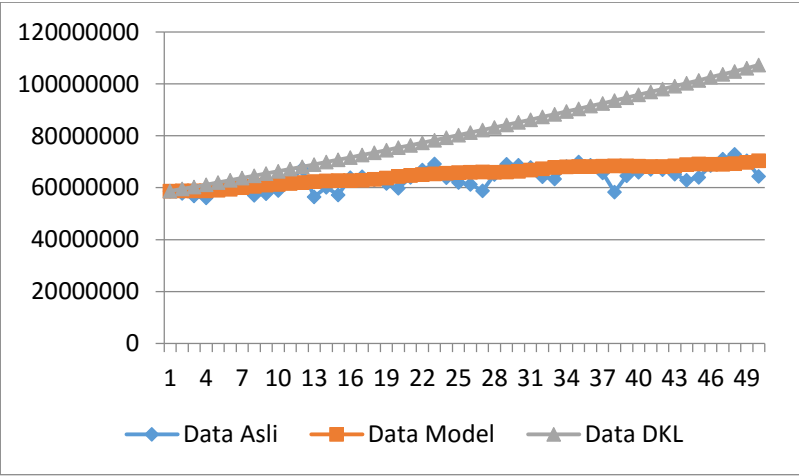
#### 4.10.3. Perbandingan Total Jawa Timur

Hasil analisis data total Jawa Timur tersebut dapat dilihat bahwa *error* dari data DKL lebih besar dibandingkan dengan data hasil model. Pada grafik hasil model memiliki perbedaan yang kecil terhadap data asli, sedangkan grafik hasil

DKL memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada grafik DKL pertumbuhan terjadi sangat pesat dan grafik berada di atas data asli dan juga data model. Grafik data model masih berada di area data asli.

Tabel 4.57 Perhitungan Perbandingan APJ SBU

	Data Asli	Data Model	Data DKL
Rata2	63.663.248	65.054.585	81.492.776
Standar Deviasi	4.331.461,225	3.533.925,285	14.414.734,65
Error Data Model dengan data asli	Error Mean	2,19%	
	Error Variance	-18,41%	
Error DKL dengan data asli	Error Mean	28,01%	
	Error Variance	232,79%	



Gambar 4.101 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL APJ SBU



Hasil dari total Jawa Timur ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan DKL 3.2. Tabel 4.58 menjelaskan tentang hasil perbandingan simulasi dinamis dan DKL 3.2 pada tarif bersubsidi.

**Tabel 4.58 Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2 pada Tarif Bersubsidi**

Tarif R-1 s/d 450 VA		Tarif R-1 900 VA	
<i>Error Mean</i>		<i>Error Mean</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
1,62%	25,51%	2,62%	16,39%
<i>Error Variance</i>		<i>Error Variance</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
4,21%	192,34%	25,51%	63,48%

**Tabel 4.59 Hasil Perhitungan Koefisien Perumusan DKL Jawa Timur**

Koefisien	Persentase
gE	3,23%
eRT	23,61%
UK	83,78
$\Delta$ Pel.RT	72.206

Tabel 4.60 menjelaskan tentang hasil perbandingan simulasi dinamis dan DKL 3.2 pada tarif tidak bersubsidi. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa *error* perhitungan menggunakan simulasi dinamis lebih kecil dibandingkan dengan *error* perhitungan menggunakan DKL 3.2.

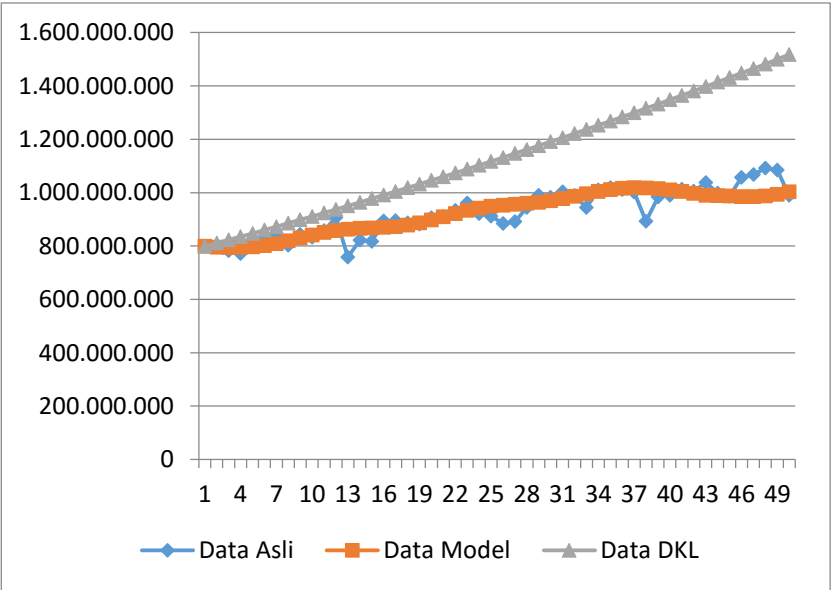
**Tabel 4.60 Perbandingan Simulasi Dinamis dan DKL 3.2  
pada Tarif Tidak Bersubsidi**

Tarif R-1 1300 VA		Tarif R-1 2200 VA	
<i>Error Mean</i>		<i>Error Mean</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
0,26%	30,68%	2,01%	29,72%
<i>Error Variance</i>		<i>Error Variance</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
14,08%	258,68%	2,32%	213,17%
Tarif R-2 3500-5500 VA		Tarif R-3 >6600 VA	
<i>Error Mean</i>		<i>Error Mean</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
3,36%	25,10%	3,04%	27,00%
<i>Error Variance</i>		<i>Error Variance</i>	
Simulasi Dinamis	DKL 3.2	Simulasi Dinamis	DKL 3.2
8,95%	142,53%	7,59%	163,50%

Hasil tersebut dapat diketahui bahwa simulasi dinamis lebih baik dibandingkan dengan DKL 3.2. Hal tersebut dikarenakan simulasi dinamis dilakukan dengan pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, lalu dilanjutkan dengan pemetaan variabel-variabel terkait yang signifikan pada model yang akan dibangun dalam simulasi dinamis. Sedangkan pada DKL 3.2 hanya berlandaskan rumus menetap yang tidak dinamis dan menggunakan variabel-variabel yang kurang signifikan.

Tabel 4.61 Perhitungan Perbandingan Jawa Timur

	Data Asli	Data Model	Data DKL
Rata2	925.025.224	924.463.071	1.136.038.443
Standar Deviasi	89.050.040,56	76.950.569,5	213.550.309
Error Data Model dengan data asli	Error Mean	-0,06%	
	Error Variance	-13,59%	
Error DKL dengan data asli	Error Mean	22,81%	
	Error Variance	139,81%	



Gambar 4.102 Grafik Perbandingan Data Asli, Data Model, dan Data DKL Jawa Timur

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN A

### Data Faktor PDRB dan Populasi Rumah Tangga

#### Data PDRB Jasa Perorangan dan Rumah Tangga – Komponen Lapangan Usaha

Jasa Perorangan Dan RT (Lapangan Usaha)					
Data Triwulan dari PDRB					
Tahun	Triwulan 1	Triwulan 2	Triwulan 3	Triwulan 4	Total
<b>2012</b>	8.150.102,84	8.392.025,23	9.048.729,34	10.037.573,03	<b>35.628.430,45</b>
Growth	0,00%	2,97%	7,83%	10,93%	
<b>2013</b>	9.064.846,90	9.569.926,36	10.253.609,07	10.997.624,87	<b>39.886.007,19</b>
Growth	0,00%	5,57%	7,14%	7,26%	
<b>2014</b>	11.047.016,82	11.642.046,85	11.648.870,20	12.670.679,25	<b>47.008.613,13</b>
Growth	0,00%	5,39%	0,06%	8,77%	

Satuan :     Juta Rupiah

#### Data PDRB Konsumsi Rumah Tangga – Komponen Penggunaan

Konsumsi Rumah Tangga (Penggunaan)					
Data Triwulan dari PDRB					
Tahun	Triwulan 1	Triwulan 2	Triwulan 3	Triwulan 4	Total
<b>2012</b>	158.448.764,28	162.753.763,59	171.021.257,54	175.038.760,54	<b>667.262.545,95</b>
Growth	0,00%	2,72%	5,08%	2,35%	
<b>2013</b>	178.575.364,67	185.703.943,37	196.778.827,69	204.940.098,46	<b>765.998.234,18</b>
Growth	0,00%	3,99%	5,96%	4,15%	
<b>2014</b>	208.618.785,02	216.835.468,75	228.563.171,09	235.123.326,28	<b>889.140.751,13</b>
Growth	0,00%	3,94%	5,41%	2,87%	

Satuan :     Juta Rupiah

### Data PDRB Konsumsi Rumah Tangga – Komponen Pengeluaran

Konsumsi Rumah Tangga (Pengeluaran)					
Data Triwulan dari PDRB					
Tahun	Triwulan 1	Triwulan 2	Triwulan 3	Triwulan 4	Total
<b>2012</b>	187.899,76	196.279,81	207.344,09	211.894,71	803.418,37
Growth	0,00	0,04	0,06	0,02	
<b>2013</b>	209.776,31	215.405,49	229.038,14	238.294,79	<b>892.514,73</b>
Growth	0,00	0,03	0,06	0,04	
<b>2014</b>	237.451,35	242.731,18	255.575,38	247.668,38	<b>983.426,29</b>
Growth	0,00	0,02	0,05	-0,03	

Satuan : Milyar Rupiah

### Pertumbuhan Total PDRB Rumah Tangga

Tahun	Februari	Mei	Agustus	November
<b>2012</b>	<b>55.302.525,52</b>	<b>56.899.001,75</b>	<b>59.899.898,78</b>	<b>61.558.037,72</b>
Growth	0,00%	2,89%	5,27%	2,77%
<b>2013</b>	<b>62.311.747,94</b>	<b>64.770.458,03</b>	<b>68.685.531,72</b>	<b>71.738.655,43</b>
Growth	1,22%	3,95%	6,04%	4,45%
<b>2014</b>	<b>72.640.361,09</b>	<b>75.549.375,43</b>	<b>79.690.785,18</b>	<b>82.122.873,18</b>
Growth	1,26%	4,00%	5,48%	3,05%

Dari tabel tersebut didapatkan rata-rata pertumbuhan PDRB rumah tangga sebesar 3,45%.

### Data Pertumbuhan PDRB Total dalam Hitungan Triwulan

PDRB TOTAL triwulan				
Tahun	Triwulan 1	Triwulan 2	Triwulan 3	Triwulan 4
2012	237.376.069,97	247.049.751,46	257.751.937,12	259.022.986,26
Growth	0,000%	4,075%	4,332%	0,493%
2013	267.059.263,69	279.895.542,46	293.775.501,21	295.427.558,43
Growth	3,103%	4,807%	4,959%	0,562%
2014	305.194.694,61	316.882.030,10	333.552.888,47	336.369.170,68
Growth	3,306%	3,829%	5,261%	0,844%

Dari Data Pertumbuhan PDRB Total dalam Hitungan Triwulan maka didapatkan perhitungan rata-rata sebesar 3,23%.

### Jumlah Rumah Tangga Hasil Proyeksi 2011-2015 Menurut Kabupaten/Kota

Kabupaten/Kota	Tahun			
	2012	2013	2014	2015
PACITAN	153 696,00	154 262,00	154 703,00	154 913,00
PONOROGO	244 386,00	244 977,00	245 521,00	245 373,00
TRENGGALEK	195 539,00	196 137,00	196 994,00	197 572,00
TULUNGAGUNG	284 124,00	285 453,00	287 309,00	288 013,00
BLITAR	325 661,00	327 469,00	328 648,00	329 412,00
KEDIRI	411 067,00	413 393,00	415 668,00	417 383,00
MALANG	679 661,00	684 524,00	689 542,00	693 060,00

LUMAJANG	284 055,00	285 706,00	286 421,00	287 124,00
JEMBER	679 156,00	683 148,00	686 938,00	689 153,00
BANYUWANGI	473 270,00	475 692,00	477 344,00	478 155,00
BONDOWOSO	247 718,00	249 262,00	250 652,00	251 097,00
SITUBONDO	211 765,00	212 674,00	214 384,00	214 909,00
PROBOLINGGO	315 981,00	317 910,00	320 595,00	322 315,00
PASURUAN	423 010,00	426 568,00	430 075,00	432 155,00
SIDOARJO	535 532,00	544 031,00	553 308,00	563 068,00
MOJOKERTO	280 793,00	282 912,00	286 303,00	288 540,00
JOMBANG	326 210,00	329 011,00	329 978,00	330 658,00
NGANJUK	286 460,00	287 764,00	288 913,00	289 643,00
MADIUN	198 743,00	199 572,00	200 198,00	200 364,00
MAGETAN	174 530,00	174 901,00	175 156,00	175 312,00
NGAWI	250 201,00	250 804,00	251 790,00	251 337,00
BOJONEGORO	338 910,00	340 191,00	341 489,00	341 640,00
TUBAN	308 712,00	310 593,00	312 116,00	313 132,00
LAMONGAN	304 763,00	305 227,00	305 407,00	304 870,00
GRESIK	307 334,00	311 244,00	314 925,00	318 766,00
BANGKALAN	219 231,00	221 470,00	223 435,00	225 559,00
SAMPANG	223 151,00	225 592,00	228 657,00	231 364,00
PAMEKASAN	212 155,00	214 676,00	216 964,00	219 028,00
SUMENEP	320 994,00	322 451,00	324 272,00	324 207,00
KEDIRI	71 507,00	72 271,00	72 650,00	73 155,00
BLITAR	35 989,00	36 251,00	36 572,00	36 840,00
MALANG	224 267,00	225 954,00	227 343,00	228 774,00
PROBOLINGGO	56 934,00	57 341,00	58 083,00	58 614,00
PASURUAN	47 688,00	48 213,00	48 475,00	48 848,00
MOJOKERTO	32 286,00	32 605,00	32 846,00	33 106,00
MADIUN	48 575,00	48 920,00	48 993,00	49 167,00



SURABAYA	767 880,00	772 316,00	775 599,00	779 611,00
BATU	51 249,00	51 642,00	52 278,00	52 655,00
<b>JAWA TIMUR</b>	<b>10 553 183,00</b>	<b>10 623 127,00</b>	<b>10 690 544,00</b>	<b>10 738 892,00</b>

Sumber : Badan  
Pusat Statistik

Berikut ini merupakan koefisien masing-masing komponen hasil olahannya :

Komponen Lapangan Usaha :

*General model Sin3:*

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

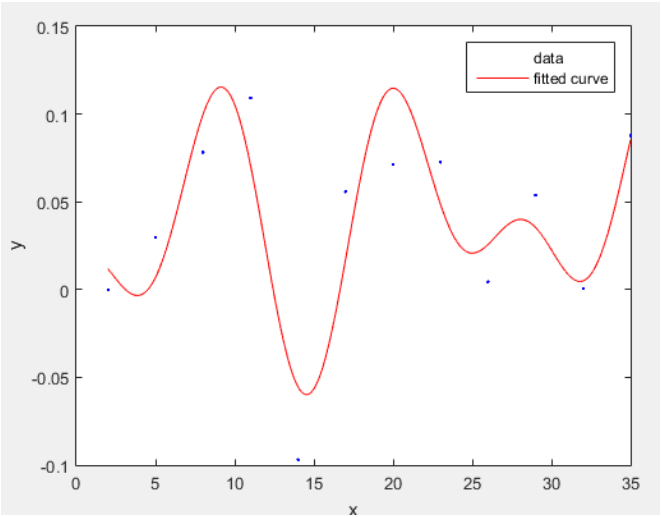
$$\begin{aligned} a1 &= 0.09606 \quad (-29.62, 29.81) \\ b1 &= 0.00697 \quad (-2.596, 2.61) \\ c1 &= 0.2977 \quad (-92.89, 93.49) \\ a2 &= 0.05237 \quad (-0.02318, 0.1279) \\ b2 &= 0.4442 \quad (0.2545, 0.6339) \\ c2 &= 4.459 \quad (0.842, 8.077) \\ a3 &= 0.04495 \quad (-0.03148, 0.1214) \\ b3 &= 0.6757 \quad (0.4805, 0.8708) \\ c3 &= 1.214 \quad (-2.808, 5.236) \end{aligned}$$

Komponen Pengeluaran :

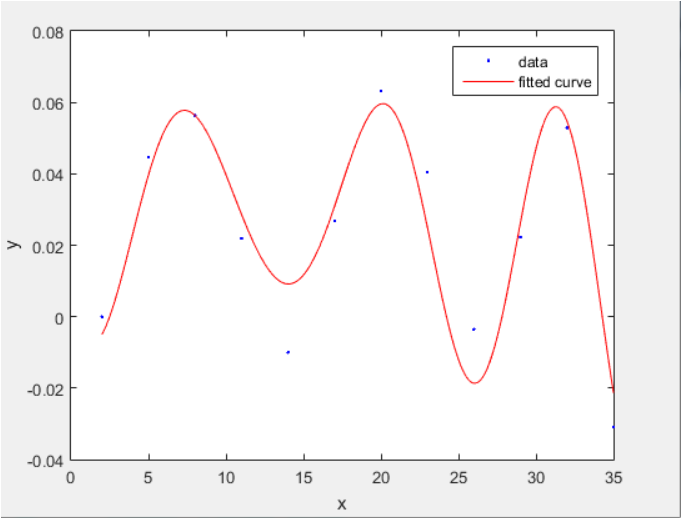
*General model Sin3:*

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

$$\begin{aligned} a1 &= 0.03314 \quad (0.007816, 0.05847) \\ b1 &= 0.06227 \quad (-0.0795, 0.204) \\ c1 &= 0.8308 \quad (-2.842, 4.504) \\ a2 &= 0.0378 \quad (-0.07143, 0.147) \\ b2 &= 0.5477 \quad (0.339, 0.7565) \\ c2 &= 3.525 \quad (0.09686, 6.952) \\ a3 &= 0.01465 \quad (-0.08807, 0.1174) \\ b3 &= 0.6569 \quad (0.03783, 1.276) \\ c3 &= 5.36 \quad (-3.926, 14.65) \end{aligned}$$



**Grafik Sinus PDRB Komponen Lapangan Usaha**



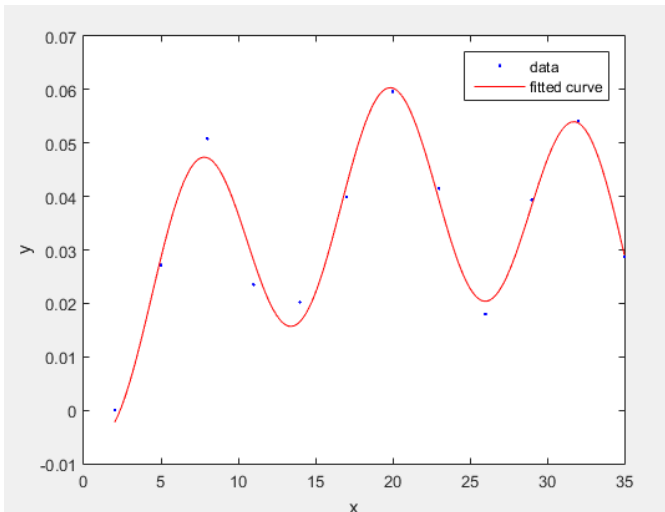
**Grafik Sinus PDRB Komponen Pengeluaran**

Komponen Penggunaan :

General model Sin3:

*Coefficients (with 95% confidence bounds):*

$a_1 = 0.05114$   $(-11.25, 11.36)$   
 $b_1 = 0.07254$   $(-5.908, 6.053)$   
 $c_1 = 0.1656$   $(-56.96, 57.29)$   
 $a_2 = 0.0199$   $(0.01299, 0.02681)$   
 $b_2 = 0.512$   $(0.4523, 0.5717)$   
 $c_2 = 4.02$   $(2.99, 5.05)$   
 $a_3 = 0.01159$   $(-11.47, 11.49)$   
 $b_3 = 0.1153$   $(-18.37, 18.6)$   
 $c_3 = 2.833$   $(-221.9, 227.5)$



**Grafik Sinus PDRB Komponen Penggunaan**

Berikut adalah hasil persamaan dan koefisien dari olahan data menggunakan Matlab :

Pertumbuhan Populasi (Rumah Tangga) Jawa Timur :

General model Sin3:

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a1 = 0.003089 (-0.4332, 0.4394)

b1 = 0.1087 (-5.684, 5.901)

c1 = -0.4547 (-107.5, 106.6)

a2 = 0.001507 (-0.4334, 0.4364)

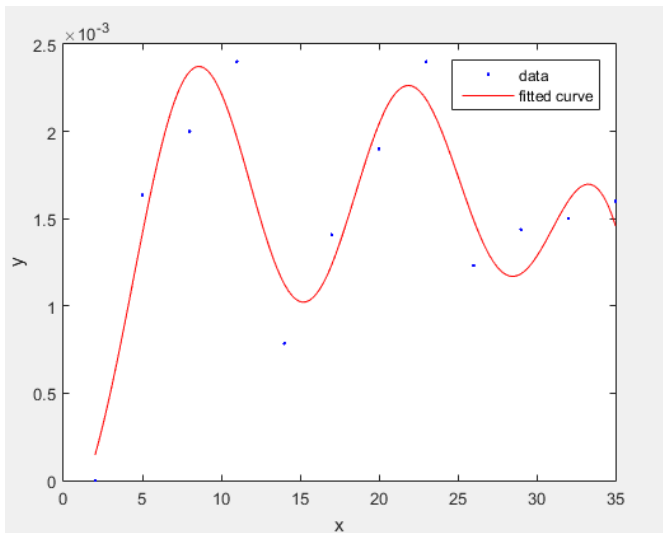
b2 = 0.1793 (-9.424, 9.783)

c2 = 1.379 (-176.7, 179.5)

a3 = 0.0006202 (-0.0001157, 0.001356)

b3 = 0.473 (0.3317, 0.6144)

c3 = 3.907 (-0.4994, 8.313)



**Grafik Sinus Populasi (Rumah Tangga)**

## LAMPIRAN B

### Data Perbandingan Hasil Olahan Permintaan Sektor Rumah Tangga

#### Perbandingan Hasil Permintaan Rumah Tangga Data Asli, Model, dan DKL APJ BJK

<i>Demand Household APJ BJK</i>			
<i>Time (Month)</i>	<i>"Total Demand Household Jatim(kWh)"</i>		
	Data Asli	Data Model	Data DKL
1	53439814	53439832	53439814
2	52763787	53669228	54087942,82
3	52442099	53921548	54741020,07
4	51484826	54190184	55399083,53
5	55685705	54495444	56062171,28
6	55444067	54877324	56730321,68
7	57001068	55381768	57403573,37
8	54895766	56044928	58081965,31
9	60025785	56879864	58765536,74
10	57004292,5	57868824	59454327,2
11	58417766	58962796	60148376,55
12	61237405	56089384	60847724,94
13	50865743	53016804	61552412,81
14	54555806	53714480	62262480,95
15	56189176	56151804	62977970,42
16	61447859	58526936	63698922,63
17	61064879	59374724	64425379,27
18	61509302	60041824	65157382,37

19	60742000	60783796	65894974,29
20	64585149	61642920	66638197,68
21	63550969	62624812	67387095,55
22	64685219	63696044	68141711,22
23	65252587	62792712	68902088,35
24	64315339	61684016	69668270,92
25	61533033	60420880	70440303,26
26	62144946	58996376	71218230,04
27	59636350	60445920	72002096,24
28	66795781	62873900	72791947,23
29	67605673	65354636	73587828,7
30	69624924	67966112	74389786,68
31	70992536	69120216	75197867,58
32	70677856	71098784	76012118,14
33	68675424	73237544	76832585,46
34	70092394	73968504	77659317,02
35	72452958	73693808	78492360,63
36	68843335	73285872	79331764,49
37	70535044	72680920	80177577,16
38	66682294	71861872	81029847,57
39	64333801	71859632	81888625,03
40	71393292	71745592	82753959,21
41	71649753	71579320	83625900,18
42	71271998	71426864	84504498,38
43	76301595	71294232	85389804,64
44	71663153	71088184	86281870,17
45	71047005	71947768	87180746,58
46	76599337	72824480	88086485,87
47	76231781	73726968	88999140,43

48	76660362	74691080	89918763,08
49	77552776	75780368	90845407
50	70027779	77064344	91779125,8

**Perbandingan Hasil Permintaan Rumah Tangga Data Asli, Model, dan DKL APJ MJK**

<i>Demand Household APJ MJK</i>			
<i>Time (Month)</i>	<i>"Total Demand Household Jatim(kWh)"</i>		
	Data Asli	Data Model	Data DKL
1	71374976	71375032	71374976
2	73149729	71466288	72513596,86
3	73745789	71616480	73660911,04
4	69676754	71863456	74816984,91
5	75304411	72239872	75981885,35
6	75197243	72765184	77155679,75
7	76409753	73440240	78338436,02
8	73488722	74245240	79530222,58
9	73507609	75141336	80731108,37
10	80995726	76075856	81941162,88
11	77577334	76990728	83160456,09
12	82494030	77832880	84389058,55
13	70622278	78564640	85627041,33
14	75230015	79171376	86874476,06
15	74592794	79664480	88131434,89
16	81652832	80078192	89397990,55
17	81934437	80461392	90674216,3
18	81299447	80865952	91960185,97

19	80873807	81334888	93255973,97
20	85702314	81892744	94561655,24
21	82651181	82540464	95877305,34
22	85593843	83255824	97203000,36
23	89518989	83999368	98538817
24	84837881	84724696	99884832,54
25	85687595	85390248	101241124,8
26	83345551	85969584	102607772,4
27	81206632	86457040	103984854,2
28	85767728	86867944	105372450
29	91461863	87233560	106770640
30	89615959	87592448	108179505,1
31	95403499	87980328	109599126,9
32	92687088	88420720	111029587,4
33	87375966	88918696	112470969,4
34	93291407	89459264	113923356,3
35	92979605	90010464	115386832,1
36	93816792	90529624	116861481,4
37	93413643	90970224	118347389,7
38	82914848	91291048	119844642,8
39	92221850	91452096	121353327,3
40	91893302	91428248	122873530,6
41	94785292	91207376	124405340,5
42	93432433	90804840	125948845,8
43	99154810	90240688	127504135,7
44	93585233	90394928	129071300,1
45	91996712	90554120	130650429,7
46	98926371	90739576	132241616
47	98943461	91042768	133844950,8



48	101008050	91514688	135460527,1
49	101695971	92188472	137088438,2
50	94622665	93070344	138728778,3

**Perbandingan Hasil Permintaan Rumah Tangga Data Asli, Model, dan DKL APJ SBU**

<i>Demand Household APJ SBU</i>			
<i>Time (Month)</i>	<i>"Total Demand Household Jatim(kWh)"</i>		
	Data Asli	Data Model	Data DKL
1	58714784	58714728	58714784
2	57893711	58797836	59534685,06
3	56800976	58806016	60360846,02
4	56170836	58848852	61193314,68
5	60848563	59056376	62032139,2
6	61646718	59472560	62877368,11
7	61955580	60018624	63729050,31
8	57070887	60553692	64587235,06
9	57704496	60986048	65451972
10	58939254,6	61336328	66323311,18
11	62463875	61686900	67201302,99
12	67361132	62075704	68085998,23
13	56428470	62445744	68977448,08
14	60237564	62694860	69875704,1
15	57241295	62785176	70780818,27
16	63908049	62809776	71692842,94
17	64257793	62935220	72611830,88
18	63044280	63268472	73537835,25

19	61713549	63774632	74470909,62
20	59865848	64310556	75411107,97
21	64015450	64743160	76358484,7
22	66863851	65050820	77313094,6
23	69143558	65309096	78274992,9
24	63857738	65583816	79244235,25
25	62065462	65852160	80220877,73
26	61290596	66025256	81204976,82
27	58860704	66049984	82196589,46
28	65099784	65997880	83195773,03
29	69008870	66039200	84202585,31
30	68644729	66310776	85217084,56
31	67805190	66802656	86239329,46
32	64275738	67360528	87269379,16
33	63343685	67799432	88307293,24
34	68136837	68040128	89353131,74
35	69979593	68146288	90406955,18
36	68729992	68230952	91468824,51
37	65718783	68338896	92538801,16
38	58312530	68416608	93616947,03
39	64596413	68387464	94703324,5
40	65966653	68261456	95797996,41
41	67075337	68150704	96901026,09
42	66937802	68218944	98012477,35
43	65216581	68461760	99132414,49
44	62901133	68895112	100260902,3
45	63940499	69119088	101398006,1
46	68516390	69114336	102543791,6
47	70996786	69116624	103698325,1

48	72890971	69315680	104861673,4
49	70365144	69784808	106033903,8
50	64337945	70427520	107215084,2

**Perbandingan Hasil Permintaan Rumah Tangga Data Asli, Model, dan DKL Jawa Timur**

<i>Demand Household East Java</i>			
<i>Time (Month)</i>	<i>"Total Demand Household Jatim(kWh)"</i>		
	Data Asli	Data Model	Data DKL
1	798.588.793	798589248	798.588.793
2	795.306.214	795767808	810735400,5
3	782.305.905	793937280	822974746,7
4	771.283.383	793938880	835307539,8
5	823.103.095	796391296	847734493,3
6	825.063.333	801570496	860256325,9
7	836.360.600	809341120	872873762,2
8	802.654.028	819140160	885587532
9	843.144.705	830029824	898398370,8
10	833.181.345	840840000	911307019,8
11	858.400.233	850404480	924314225,8
12	906.691.822	857851968	937420741,2
13	758.203.300	862865024	950627324,2
14	821.974.718	865800704	963934738,9
15	816.776.632	867604928	977343755,1
16	894.498.754	869546752	990855148,5
17	895.358.530	872871424	1004469701
18	886.496.306	878487936	1018188200

19	881.426.978	886756096	1032011438
20	906.163.202	897397184	1045940217
21	910.681.115	909537152	1059975341
22	933.827.986	921897216	1074117623
23	961.611.022	933126016	1088367880
24	921.652.439	942201984	1102726938
25	912.157.894	948757248	1117195626
26	884.883.577	953173184	1131774782
27	892.084.274	956401344	1146465249
28	943.873.469	959611072	1161267878
29	990.318.666	963831040	1176183523
30	983.115.347	969696064	1191213049
31	1.003.155.222	977322176	1206357325
32	990.424.958	986292608	1221617226
33	944.060.814	995747392	1236993637
34	1.010.356.300	1004584448	1252487445
35	1.018.950.628	1011744640	1268099548
36	1.011.409.243	1016484288	1283830848
37	1.002.102.435	1018511424	1299682257
38	893.038.631	1017934912	1315654690
39	984.197.300	1015095808	1331749072
40	990.391.903	1010402304	1347966333
41	1.012.848.250	1003896704	1364307413
42	1.005.513.103	996952000	1380773256
43	1.037.643.195	989325824	1397364815
44	998.630.867	988953856	1414083050
45	985.936.434	987371520	1430928928
46	1.057.431.173	985051072	1447903424
47	1.067.387.850	984799488	1465007519

48	1.091.664.862	987654592	1482242202
49	1.084.928.942	994031296	1499608472
50	990.001.414	1003632256	1517107333

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dari hasil uji coba yang telah dilakukan dan saran mengenai hal-hal yang masih bisa untuk dikembangkan dari tugas akhir ini.

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan selama proses pengerjaan tugas akhir, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil validasi yang dilakukan memenuhi standar, yaitu *error mean comparison* ( $E1$ )  $< 5\%$  dan *error variance comparison* ( $E2$ )  $< 30\%$ .
2. Proyeksi atau peramalan terhadap *demand* sektor rumah tangga telah berhasil dilakukan pada tiap tarif di beberapa APJ dan di Jawa Timur hingga tahun 2028. Pada sekitar tahun 2019 adalah saat yang tepat untuk penambahan pengadaan listrik. Hasil tersebut dapat membantu penentuan perencanaan lainnya penambahan pasokan energi listrik di masa depan.
3. Hasil proyeksi simulasi sistem dinamis sektor rumah tangga energi listrik lebih baik dari perhitungan proyeksi pada DKL 3.2. Hal ini dapat dilihat dari *error* yang dihasilkan. *Error mean* yang dihasilkan oleh model adalah  $0,06\%$  dan *error variance*-nya  $13,59\%$ , sedangkan *error mean* yang dihasilkan oleh perhitungan DKL 3.2 adalah  $22,81\%$  dan  $139,81\%$  dari *error variance*. Maka dapat disimpulkan metode simulasi dinamis ini merupakan metode pemodelan yang tepat untuk pasokan dan permintaan kebutuhan listrik.

## 5.2. Saran

Penelitian pada tugas akhir ini masih memiliki kekurangan-kekurangan, apabila ada pihak atau peneliti lain yang akan mengembangkan lebih lanjut penelitian mengenai energi listrik secara umum maupun secara lebih khusus. Berikut merupakan beberapa saran untuk pengembangan simulasi dinamis atau metode lain terhadap penelitian lebih lanjut pada sistem. Saran-saran ini didasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini.

1. Penelitian memiliki keterbatasan penggunaan data dengan hanya menghubungkan dengan faktor ekonomi yaitu PDRB dan faktor populasi rumah tangga, sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan bisa memasukkan variabel faktor-faktor eksternal lainnya terhadap model perencanaan pasokan dan kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga.
2. Diharapkan pengembangan lebih lanjut terhadap metode simulasi dinamis dengan menerapkannya pada studi kasus di daerah lain.
3. Penelitian memiliki keterbatasan waktu dan data sehingga mengambil beberapa contoh area saja untuk dimodelkan. Akan lebih maksimal apabila pemodelan dibuat lebih rinci dengan seluruh APJ yang dimodelkan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Sorasalmi, *Dynamic Modelling of Household Electricity Consumption*, Espoo: Aalto University, 2012.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Berita Resmi Statistik Provinsi Jatim No. 13/02/Th.XIII," Badan Pusat Statistik, Surabaya, 2015.
- [3] K. Dewayana, Hermawan and Karnoto, "Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Jawa Tengah Menggunakan Perangkat Lunak LEAP," *Universitas Diponegoro*, 2007.
- [4] PT. PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2015-2024," Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, 2015.
- [5] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2014," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2015.
- [6] E. Suryani, C. Shuo-Yan and C. Chih-Hsien, "Dynamic Simulation Model of Air Cargo Demand Forecast and Terminal Capacity Planning," *The 3rd Annual Indonesian Scholars Conference in Taiwan*, 2012.
- [7] T. Jager, S. Schmidt and U. Karl, "A System Dynamics Model for The German Electricity Market Model Development and Application," *European Institute for Energy Research*, 2009.
- [8] L. Cimpian, E. Lazar and M. Gabor, "Econometric Modeling of Influence on Turnover Concerning Indicators of Information Society Across the European Union," *The Bucharest University of Economic Studies*, 2014.

- [9] W. Diah Tri, "Pendekatan Model Ekonometri untuk Peramalan Kebutuhan Listrik Periode 2005-2015 di Wilayah Malang," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2005.
- [10] PT. PLN Distribusi Jawa Timur, "Penjualan Listrik ke Pelanggan dan Data Gardu Induk Jawa Timur," Perusahaan Listrik Negara, Surabaya, 2016.
- [11] A. Momodu, T. Oyebisi and T. Obilade, "Modelling the Nigeria's Electric Power System to Evaluate its Long-Term Performance," *The 30th International Conference of the System Dynamics Society*, 2012.
- [12] N. F. Ariyani and R. Sarno, "Optimasi Penempatan Gardu Induk Menggunakan Metode P-Median dan Voronoi Diagram," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2008.

## DAFTAR SIMBOL

$\bar{S}$	:	rata-rata dari data model.
$\bar{A}$	:	rata-rata dari data sebenarnya.
$S_s$	:	standar deviasi dari data model.
$S_A$	:	standard deviasi dari data sebenarnya.
$EI$	:	error mean comparison.
$E2$	:	error variance comparison.
$P$	:	daya terpasang pelanggan, yaitu daya maksimal yang dapat digunakan pelanggan tersebut.
$V$	:	tegangan listrik maksimal yang didapat pada semua peralatan listrik atau elektronik pelanggan dalam satu waktu.
$I$	:	arus listrik maksimal yang mengalir di kabel listrik pelanggan saat peralatan elektronik digunakan.
$P_a$	:	daya aktif, yaitu secara nyata benar-benar digunakan oleh beban kebutuhan listrik dari peralatan elektronik pelanggan. Satuan dari daya aktif adalah <i>watt</i> .
$\cos \varphi$	:	faktor daya atau sudut fasa dari penggunaan listrik, nilai $\cos \varphi$ pada daya aktif PLN normalnya adalah 0,8.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **DAFTAR SINGKATAN**

APJ	: Area Pengatur Jaringan
APD	: Area Pengatur Distribusi
APP	: Area Pelaksana Pemeliharaan
APB	: Area Pengatur Beban
PDRB	: Produk Domestik Regional Bruto
GDP	: <i>Gross Domestic Product</i>
BJG	: Bojonegoro
MJK	: Mojokerto
SBU	: Surabaya Utara
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
P3B	: Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban
JB	: Jawa Bali
BPS	: Badan Pusat Statistik
RUPTL	: Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
DKL	: Dokumentasi Simulasi Proyeksi Kebutuhan Listrik

***[Halaman ini sengaja dikosongkan]***

## BIODATA PENULIS



Dewi Maya Fitriana lahir di kota Surabaya, tanggal 16 Mei 1994. Peniulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara.

Riwayat pendidikan yang telah dilalui yaitu SDN Ngagel I/394 Surabaya (2000-2006), SMP Negeri 32 Surabaya (2006-2009), dan SMA Negeri 6 Surabaya (2009-2012). Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Informatika angkatan 2012.

Bidang minat yang digeluti penulis adalah manajemen informasi. Penulis juga memiliki ketertarikan pada bidang basis data, desain web, ontologi, *forecasting*, dan pemodelan dinamis. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Grafika Komputer, Rekayasa Kebutuhan, dan Interaksi Manusia dan Komputer.

Saat menjalani masa perkuliahan, penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa baik dalam lingkup jurusan maupun institut. Penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Computer-Informatika (HMTTC) serta unit kegiatan Paduan Suara Mahasiswa ITS (PSM ITS). Penulis juga menjadi *vocal and choir coach* di beberapa lembaga musik dan sekolah di Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail [maya.dmf@gmail.com](mailto:maya.dmf@gmail.com).